

**UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE**  
École de gestion

**Tendances de la servitisation dans le secteur manufacturier : comparaison de la valeur des solutions analytiques génériques et spécialisées basées sur l'IoT avec TOPSIS**

par  
Philippe Legault

Mémoire présenté à l'École de gestion de Sherbrooke  
En vue de l'obtention du grade de  
Maître ès sciences, M. Sc.  
Gestion du commerce électronique

Sherbrooke, Québec, Canada, juillet 2019  
© Philippe Legault, 2019

**UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE**  
École de gestion

**Tendance de la servitisation dans le secteur manufacturier : comparaison de la valeur des solutions analytiques génériques et spécialisées basées sur l'IoT avec TOPSIS**

Philippe Legault

A été évalué par un jury composé des personnes suivantes :

\_\_\_\_\_ Directeur de recherche  
Luis Antonio Santa-Eulalia, École de gestion, Université de Sherbrooke

\_\_\_\_\_ Directrice de recherche  
Elaine Mosconi, École de gestion, Université de Sherbrooke

\_\_\_\_\_ Membre du jury  
Claude Caron, École de gestion, Université de Sherbrooke

\_\_\_\_\_ Membre du jury  
Fabiano Armellini, Polytechnique Montréal

Mémoire accepté le \_\_\_\_\_

## REMERCIEMENTS

*Tout d'abord, plusieurs personnes clés ont contribué à l'acheminement de ce projet. Un merci spécial au professeur Luis Antonio Santa-Eulalia qui a su supporter l'étudiant durant son parcours scolaire. Il a su structurer les idées de l'étudiant, enrichir les discussions et questionnements et faire avancer les différentes étapes du projet. Il a aussi permis à l'étudiant de participer à plusieurs projets connexes lors de son parcours à la maîtrise. Il a aidé à l'obtention de la bourse MITACS et a agi à titre de conseiller stratégique lors du mandat avec l'entreprise Conceptromec. Il faut aussi mentionner le support de la professeure Elaine Mosconi. Celle-ci a contribué à la structure et la méthodologie du projet ainsi qu'à l'obtention de la bourse MITACS. Ensuite, des remerciements spéciaux à Zine Rekik, directeur développement des affaires et marketing de Conceptromec, et tous les membres de l'entreprise qui ont contribué à l'avancement du projet et à l'approfondissement des connaissances de l'étudiant. Chacun a pris le temps nécessaire pour répondre aux différentes questions et apporter sa touche personnelle à la recherche. Cela a permis de mieux cerner les besoins de l'entreprise et accélérer la collecte de données. Il est aussi important de remercier Osvaldo Vargas qui a apporté une aide précieuse lors de son stage au Québec. Il a participé à la rédaction du projet et l'évolution des idées. Il a été un acteur clé dans le projet de recherche. Finalement, merci énormément à tous ceux qui ont contribué à la rédaction du papier, soit Fanny-Ève Bordeleau, Christian Francoeur, Nathalie Cadieux et Rosley Anholon en plus des professeurs Elaine Mosconi et Luis Antonio Santa-Eulalia. Un remerciement spécial au programme MITACS qui a fourni un support financier lors de cette recherche.*

## Table des matières

REMERCIEMENTS .....	3
LISTE DES TABLEAUX.....	5
LISTE DES FIGURES.....	5
RÉSUMÉ.....	6
1. INTRODUCTION.....	7
2. REVUE DE LITTÉRATURE.....	14
3. MÉTHODOLOGIE .....	23
<b>3.1 Revue de littérature systématique .....</b>	<b>23</b>
<b>3.2 Étude de cas .....</b>	<b>23</b>
3.2.1 Étude de cas - Planification .....	23
3.2.2 Étude de cas – « Design » et cadre théorique.....	24
3.2.3 Étude de cas – « Préparation » .....	29
3.2.4 Étude de cas – « Collecte » .....	29
3.2.5 Étude de cas – « Analyse » .....	30
3.2.6 Étude de cas – « Partage » .....	31
4. RÉSULTATS .....	32
<b>4.1 Outil multicritère pour évaluer la valeur perçue des solutions .....</b>	<b>33</b>
SECTION 2 : SUPPORT À L'UTILISATION .....	39
SECTION 3 : SUPPORT À LA DÉCISION .....	41
SECTION 4 : SUPPLÉMENTS .....	42
<b>4.2 Application de TOPSIS.....</b>	<b>46</b>
<b>4.3 Comparatif des solutions .....</b>	<b>49</b>
5. DISCUSSIONS .....	52
6. CONCLUSION ET FUTURES RECHERCHES.....	54
RÉFÉRENCES.....	56
ANNEXE A .....	61

## LISTE DES TABLEAUX

- Tableau 1 : Les définitions de la servitisation
- Tableau 2 : Les définitions retenues selon la littérature scientifique
- Tableau 3 : Les définitions retenues selon la littérature scientifique
- Tableau 4 : Les sections des critères de notre outil multicritères de comparaison des solutions d'analytique
- Tableau 5: Types d'analyses
- Tableau 6: Pointage de compatibilité matérielle
- Tableau 7 : Sommaire de la première section de la grille de comparaison des solutions d'analytiques
- Tableau 8 : Sommaire de la deuxième section de la grille de comparaison des solutions d'analytique
- Tableau 9 : Sommaire de la troisième section de la grille de comparaison des solutions d'analytiques
- Tableau 10: Niveau de support sur les pièces de rechange
- Tableau 11 : Sommaire de la quatrième section de la grille de comparaison des solutions d'analytiques
- Tableau 12 : Grille des critères d'évaluation des solutions d'analytique
- Tableau 13 : Présentation d'une grille en exemple
- Tableau 14 : Grille de présentation des critères et des poids associés
- Tableau 15 : Résultats de la comparaison multicritères TOPSIS

## LISTE DES FIGURES

- Figure 1: Les 4 révolutions industrielles (Ministère de l'Économie et de l'Innovation, 2019)
- Figure 2 : Catégories principales et sous-catégories du PSS (Tukker, 2004)
- Figure 3 : Processus de sélection d'articles
- Figure 4 : Conception et méthodes de recherche sur l'étude de cas (Yin, 2013)
- Figure 5 : Cadre pour les sources des critères de comparaison

## RÉSUMÉ

Dans le contexte de l'Industrie 4.0 et de l'Internet des Objets (IoT), les concepteurs de machine-tools adoptent la servitisation comme un moyen de développer leur entreprise. Ils ont compris que l'arrivée du 4.0 était un enjeu majeur pour la survie de l'entreprise. Plusieurs équipementiers ont alors commencé à intégrer à leurs équipements, des solutions d'analytique spécialisées afin d'analyser l'utilisation de leur équipement et fournir à l'utilisateur, entre autres, un service de maintenance prédictive. Toutefois, de grandes entreprises multinationales produisant des services d'automatisation offrent aussi des solutions d'analytiques génériques clé en main, basées sur l'IoT, pour les utilisateurs de machine-tools. Ces solutions d'analytique générique peuvent présenter une menace pour les concepteurs de solutions d'analytique spécialisés, principalement celle développée par les PME. Dans ce contexte, ce mémoire a pour but de trouver comment les solutions d'analytiques générique et spécialisé peuvent être comparées en fonction de leur valeur perçue par le client. Une étude de type exploratoire a donc été effectuée en utilisant une étude de cas combiné à la méthode d'analyse TOPSIS. Nous avons créé une grille d'évaluation des solutions d'analytiques permettant de classer plusieurs solutions en fonction de leur valeur perçue par le client, selon une perspective multicritère. D'un point de vue pratique, une méthode permettant aux manufacturiers de mieux évaluer la force et la faiblesse de leur solution d'analytique a été présentée. Du point de vue académique, une méthode permettant d'établir une grille de comparaison multicritère a été établie.

## 1. INTRODUCTION

Dans notre société de consommation immédiate et rapide, les entreprises manufacturières ont besoin de mettre en place des initiatives d'amélioration continue s'ils veulent survivre dans l'actuel contexte des affaires. En plus du changement de consommation, les demandes sont de plus en plus personnalisées et la compétition mondiale est en hausse (Weichhart et al. 2016). Ceci oblige les entreprises manufacturières à investir en recherche et développement afin de rester compétitives dans le marché. Toutefois, ce phénomène n'est pas nouveau. De vagues de changements dans les industries manufacturières sont documentés depuis plusieurs décennies, appelés des révolutions industrielles.

Afin de bien comprendre le contexte actuel, un bref retour dans le temps s'impose. Vers la fin du 18<sup>e</sup> siècle, plusieurs régions du monde sont dans un système féodal (Deane 1979). L'économie tourne autour de l'agriculture et les gens vivent principalement à la campagne. Les nobles, propriétaires de terres, sont donc la source principale d'emploi et l'esclavage est sur le point de se terminer. Les progrès scientifiques et les techniques de plus en plus perfectionnées ont permis de créer la machine à vapeur. Les ateliers artisanaux sont donc remplacés progressivement par des usines et la production d'objets augmente de manière considérable, notamment dans le domaine du textile et de la métallurgie. Ainsi, la mécanisation des procédés de fabrication et d'autres processus dans différents secteurs d'activités, comme les locomotives à vapeur représentent la base des changements qui caractérisent la Première Révolution Industrielle.

Vers la seconde moitié du 19<sup>e</sup> siècle, les apports scientifiques axés sur l'utilisation du pétrole et de l'électricité ont permis de créer le moteur à explosion et les machines électriques (Mokyr 1998). Encore une fois, les progrès scientifiques ont permis aux manufactures d'avoir une production plus importante pour répondre aux demandes du marché. Cela a favorisé la naissance de plusieurs grandes entreprises et de nouveaux procédés de fabrication. Le travail à la chaîne, déjà présent, est amélioré par Frédérique Taylor, qui propose une nouvelle façon de produire basée sur les gains de productivité. Son approche scientifique et rigoureuse est fondée sur la délimitation des tâches et surtout sur l'analyse des gestes, de la cadence et du rythme de chaque employé. Cette approche est

perfectionnée par le Taylorisme qui ajoute un compromis économique et social au travail. Henry Ford lie les gains de productivité à la hausse salariale des employés afin de leur permettre d'acheter les voitures qu'ils ont eux-mêmes assemblées. C'est le début de la production de masse et du pouvoir d'achat des ouvriers. Ces conditions caractérisent la Seconde Révolution Industrielle (Batchelor 1994).

À la fin du 20<sup>e</sup> siècle, les énergies fossiles se raréfient (Rifkin 2012). Les entreprises manufacturières sont donc poussées vers une transformation, celle de l'énergie renouvelable. Les modes de production sont revus et sont améliorés notamment grâce à l'électronique et les moyens de communication plus efficaces. La robotique, l'internet, l'énergie éolienne et l'énergie solaire permettent notamment d'améliorer les processus de fabrication et la rapidité de l'échange d'information. Cette révolution est marquée par une forte mondialisation et une automatisation des procédés de fabrication et de nombreux processus d'affaires dans les entreprises de divers secteurs, d'activité. Voir Figure 1 pour un schéma qui résume ces révolutions.



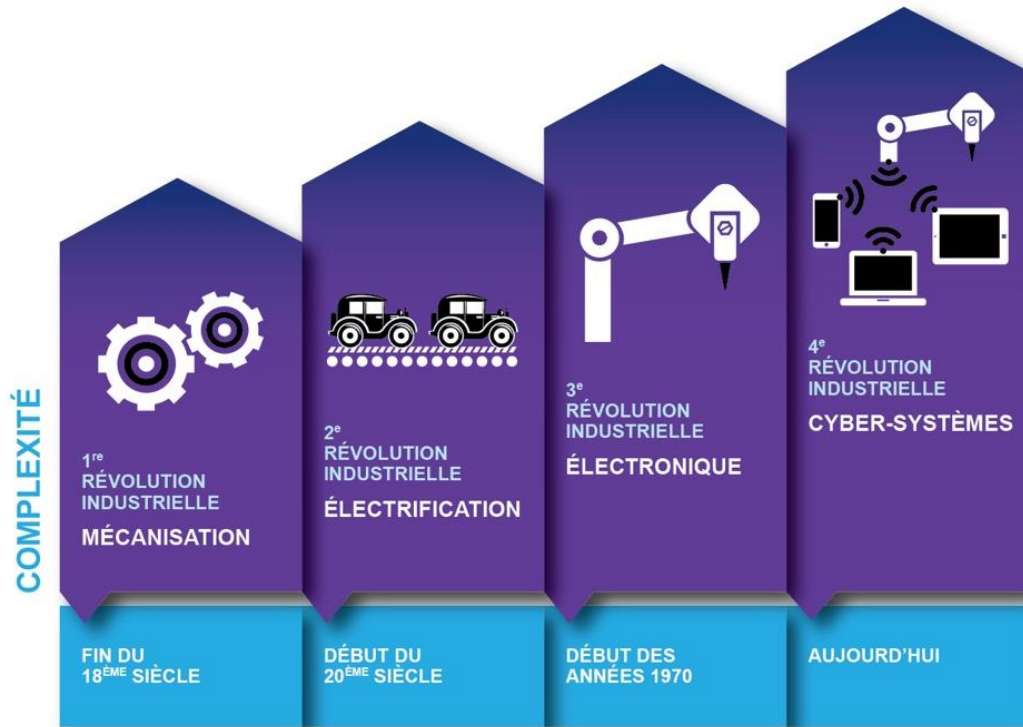


Figure 1: Les 4 révolutions industrielles (Ministère de l'Économie et de l'Innovation, 2019)

La 4<sup>e</sup> révolution industrielle, couramment appelée Industrie 4.0, est caractérisée par un croisement parfait entre les contraintes du marché (*market pull*) et la poussée de diverses technologies (*technology push*) (Platts et al. 2012). Le comportement du consommateur a changé et la personnalisation de masse, qui demande déjà des efforts soutenus quant à l'intégration de l'information interne et externe aux entreprises n'est plus suffisante. Alors, la tâche devient de plus en plus complexe pour les entreprises manufacturières qui sont tenues d'aller au-delà des moyens de production à la chaîne et sans personnalisation. À cette complexité s'ajoutent la compétition mondiale en hausse et le fait que le commerce électronique est accessible et omniprésent faisant en sorte que les consommateurs peuvent acheter des produits de n'importe où dans le monde, et ce à n'importe quel moment du jour (Kim and Srivastava 2007). Devant ce contexte, la Quatrième Révolution est apparue comme le concept caractérisant ces défis et les moyens pour y faire face. D'un côté, les technologies émergentes telles que l'Internet des Objets (IoT), de l'anglais *Internet of Things*, l'impression 3D, et les systèmes cyberphysiques, permettent aux industries d'avoir une nouvelle façon d'organiser leurs moyens de production (Larkin 2016). De l'autre, la mise en place

des technologies permettrait notamment d'obtenir des produits uniques et personnalisés, tout en conservant ses gains.

Une des technologies émergentes considérées comme l'une des pierres angulaires de l'Industrie 4.0 est l'Internet des objets (Wan et al. 2016), tant dans la littérature académique que professionnelle. Selon les experts de McKinsey, l'IoT permettra la création de valeur dans les entreprises, mais elles devront s'ajuster par de profonds changements structurels, et ce dans de nombreuses industries. Encore, selon ce rapport de McKinsey, l'IoT a un grand potentiel de créer de la valeur dans les relations entre les entreprises et auprès des clients (McKinsey&Company 2015).

Dans le système d'approvisionnement actuel, plusieurs entreprises créent des machines qui seront opérées par d'autres entreprises manufacturières. Par exemple Xerox ("The Xerox Metered (Cost per Copy) Supplies Program & Supply Replenishment,") un fabricant d'imprimante de toute sorte, n'utilise pas directement ses imprimantes. Il vend ses imprimantes à des entreprises afin qu'ils puissent imprimer ce qu'ils veulent. L'un des moyens de se démarquer pour ces entreprises manufacturières est d'offrir un service relié au produit. Toujours suivant le même exemple, Xerox avec son système Cost-Per-Copy, permet au client de payer seulement pour le nombre de fois qu'ils ont utilisé l'équipement. Ce type de système paraît simple à première vue, mais est assez complexe techniquement parlant. En effet, il doit comporter un lot de senseurs connectés à internet (IoT), un logiciel permettant l'envoi de donnée, un système de gestion de facturation efficace, un modèle d'affaires adapté et plus encore. Ce genre de système est appelé un Système Produit-Service, de l'anglais, *Product-Service-System (PSS)* (Goedkoop 1999; Tukker 2004).

En ce sens, l'IoT devient un catalyseur pour ceux qui veulent entreprendre le virage vers l'Industrie 4.0. Dans les chroniques de tendances technologiques, McKinsey (McKinsey&Company 2015) souligne le fait d'ajouter un service à une entreprise qui offre des produits comme étant **une manière de créer de la valeur**. L'entreprise passe donc d'un modèle d'affaires orienté produit à un modèle d'affaire orientée produit-service (Baines et al. 2009b). Le passage d'une entreprise

orienté produit à un modèle d'affaires orienté produit-service, est appelé la servitisation. Les premières études scientifiques sur le sujet de la servitisation ou du PSS des entreprises datent de 1988 (Vandermerwe and Rada 1988). Plus récemment, Tukker (2004) propose un classement de huit types de PSS, illustrés à la Figure 2, permettant alors d'identifier à quel niveau est le PSS de l'entreprise.

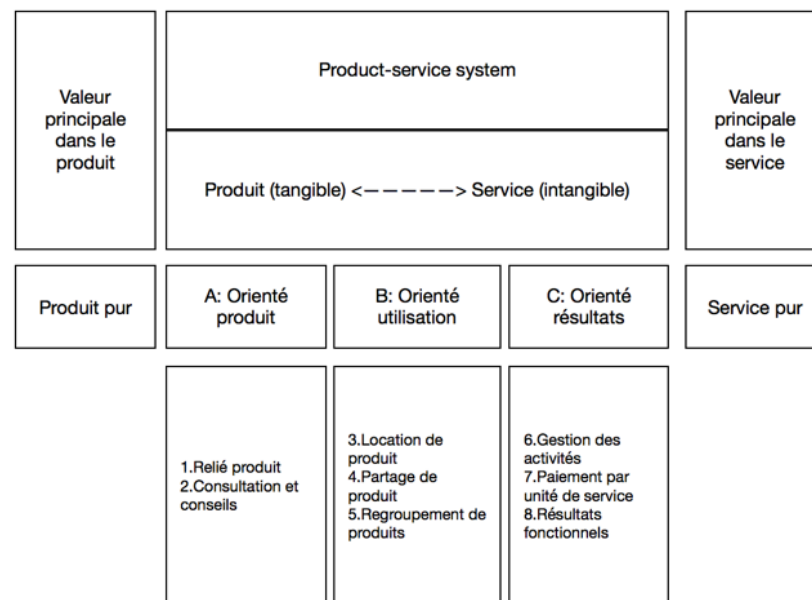


Figure 2 : Catégories principales et sous-catégories du PSS (Tukker 2004)

Dans le cadre de ce mémoire, nous nous intéresserons plus précisément aux entreprises manufacturières dans le domaine des machines à outils (c.-à.d., des équipementiers), de l'anglais *machine-tools*, qui utilisent les technologies issues de la 4<sup>e</sup> évolution industrielle (notamment l'IoT) afin d'offrir à leurs clients une solution d'analytique, embarquant ainsi dans le phénomène de servitisation. Nous ciblons les petites/moyennes entreprises (PME) qui veulent effectuer un virage numérique puisque ce genre d'entreprise a souvent de la difficulté à utiliser pleinement leurs ressources pour avoir du succès dans ce changement (Moeuf et al. 2018). Nous avons donc travaillé de pair avec une entreprise manufacturière québécoise dans cette situation. L'entreprise est actuellement classée Produit-Pur, selon le cadre théorique de Tukker (2004) (Figure 2), mais elle est en processus de servitisation vers un PSS, à l'aide d'une solution d'analytique.

Quelques entreprises n'étant pas équipementier offrent aussi des systèmes d'analytique sur des équipements dont ils ne sont pas propriétaires, p.ex. SAP, Siemens et Rockwell automation. Ils utilisent un lot de capteurs, d'algorithmes et d'intelligence artificielle afin d'offrir une solution d'analytique générique. Les clients doivent donc choisir entre la solution originale du fabricant, moyennant des frais de service supplémentaires, ou mettre en place une solution générique clé en main avec différents modèles de tarification. Malgré l'importance de cette décision, la littérature professionnelle et académique n'a pas abordé ce sujet, même considérant la proposition de valeur des modèles de servitisation basés sur l'IoT, selon une revue de littérature réalisée lors de ce projet. Notre hypothèse de travail est qu'un équipementier de *machine-tool* est capable d'offrir un niveau de service supérieur aux solutions génériques, puisque la solution est plus spécialisée et originale. Toutefois, les PME, dans ce contexte, peuvent avoir plus de difficultés à faire face aux grandes entreprises, qui possèdent beaucoup plus de ressources.

Dans ce contexte, notre question générale de recherche est : Dans quelle mesure les solutions d'analytiques spécialisées et originales offertes par les équipementiers de *machine-tool* du type PME peuvent être comparées aux solutions génériques distribuées par les grandes entreprises multinationales en fonction de leur valeur perçue dans une perspective multicritère?

Pour répondre à cette question, nous avons réalisé une étude exploratoire empirique en utilisant une d'étude de cas simple, combinée à une approche structurée, la Technique d'ordre de préférence par similarité avec la solution idéale (TOPSIS). Dans ce cas, plusieurs solutions d'analytique génériques sont comparées à une solution spécialisée fournie par une PME. Tout d'abord, nous avons développé une grille de comparaison multicritères de solutions, suivie d'un classement de la valeur perçue sur la base de TOPSIS. Les critères proviennent de quatre sources de données différentes : littérature, utilisateurs / clients, concepteurs de solutions et experts. De plus amples renseignements au sujet de notre méthodologie et des sources de données sont fournis dans la section *méthodologie* de ce mémoire.

Les contributions sont nombreuses. Du point de vue académique, ce mémoire fournit une meilleure compréhension des exigences d'une solution d'analyse basée sur l'IoT. En outre, l'approche proposée peut être utilisée par d'autres chercheurs pour une analyse de la valeur ajoutée des processus de servitisation pour les entreprises embarquées dans ce changement. Les contributions pratiques incluent une méthode permettant aux fabricants de choisir en connaissance de cause la solution idéale pour leurs usines. De plus, les fabricants de machines à outils seront en mesure de mieux identifier et évaluer leurs forces et leurs faiblesses par rapport aux solutions génériques.

Ce mémoire est organisé sous 4 sections excluant cette introduction : la première est la revue de littérature, la seconde est la méthodologie utilisée, la troisième présente les résultats et la dernière section est la discussion.

## 2. REVUE DE LITTÉRATURE

Selon Dumez (Dumez 2011), lorsqu'un chercheur choisit son sujet de recherche, le non-savoir du chercheur est immense. Il existe toutefois un savoir tout aussi immense qu'il se doit d'acquérir avant de réellement faire avancer le savoir collectif. Pour ce faire, une revue de la littérature s'impose. Nous vous laissons ici une citation qui à notre sens représente bien ses défis et objectifs: *« Une revue de la littérature est une tentative de détermination de la frontière entre savoir et non-savoir, à la manière de ces explorateurs qui, tel George Vancouver, s'attaquaient à une partie encore inconnue de la terre, sans carte et cherchant précisément à établir cette carte (Dumez 2011). »*

Une première revue de littérature au sujet de l'impact des IoT dans les entreprises manufacturières a été effectuée. L'objectif était de comprendre quelle est la valeur ajoutée de l'Internet des Objets dans une entreprise manufacturière, mais aussi d'approfondir la compréhension du secteur manufacturier, voir où en était la science et établir les bases et les définitions de ce mémoire. Cette première revue de littérature de type exploratoire ne serait pas nécessaire dans le contexte de cette recherche. Toutefois, pour des fins de définitions, d'apprentissage de techniques d'analyse d'articles scientifiques et pour avoir une trace du travail effectué dans son ensemble, il a été décidé de conserver les écrits concernant cette première revue de littérature exploratoire.

Pour cette revue de littérature exploratoire, les articles scientifiques ont été extraits, en février 2017, provenant de 4 bases de données, soit : ABI Inform, Business Source Complete, Science Direct et Scopus. Nous avons utilisé les mots clés : Internet of Things, Smart Things, Smart Device, Industrial Internet, Web of Things, IoT, IIOT, Cyber-Physical system, M-CPS, combinés aux mots : Manufacturing, manufactory, factory, production, industry 4.0, Made in China 2025. Nous avons sélectionné des articles en français et en anglais, sans limites de date et revu par les pairs. Suivant cette extraction, 492 articles se sont retrouvés entre nos mains. À la suite d'une suppression des doublons et une élimination d'articles en fonction de la cohérence entre leur résumé et notre sujet, nous nous sommes retrouvés avec 69 articles scientifiques. Suite à la lecture partielle ou complète de chaque article, nous en avons retenu 39 qui touchaient directement notre sujet de recherche. Les critères d'inclusions sont les suivants : l'article devait être en anglais ou en

français, le sujet devait porter sur l'industrie 4.0 ou tout autre sujet relié. La Figure 3 représente le déroulement quant au choix des articles.

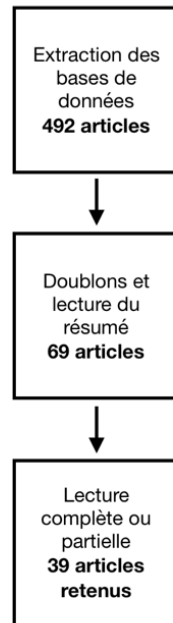


Figure 3 : Processus de sélection d'articles

Cette revue de littérature nous a permis d'en apprendre davantage sur le domaine manufacturier, notamment le concept de la valeur ajoutée par l'Industrie 4.0 et l'Internet des Objets. Nous avons réussi à y ressortir des définitions précises de plusieurs concepts et une vue globale de la frontière entre le savoir et le non-savoir.

Dans la littérature scientifique, plusieurs définitions existent de l'IoT, mais deux types en particulier sont plus établis. D'une part, des chercheurs définissent l'IoT comme un ensemble entre le physique et le digital. Leurs définitions comprennent l'objet physique (le capteur), le protocole de transmission des données et l'application pour le traitement des données (Atzori, Iera, and Morabito 2010; Boza et al. 2016; Mourtzis, Vlachou, and Milas 2016; Shariatzadeh et al. 2016; Park 2016). D'autres chercheurs définissent plutôt l'IoT comme l'objet physique (capteur) ayant un protocole de transmission de données, mais ils classent les applications dans différents

segments (Carretero and García 2014; Wang and Liu 2014; Bi, Xu, and Wang 2014; Li et al. 2015; Karjagi and Selvakumar 2016).

La définition que nous avons retenue est celle de Atzori et al. (2010), qui est plus englobante et acceptée, à savoir :

« (...) the core concept is that everyday objects can be equipped with identifying, sensing, networking and processing capabilities, which will allow them to communicate with one another, and with other devices and services, over the Internet to achieve some useful objective » (Atzori, Iera, and Morabito 2010).

l'IoT est un levier important permettant le passage au 4.0, mais plusieurs entreprises sont intéressées par cette technologie, sans trop savoir comment y prendre part (Arnold, Kiel, and Voigt 2016). Il existe plusieurs avenues permettant de se classer comme une entreprise 4.0. Par exemple, une entreprise manufacturière peut installer des capteurs et un système de gestion de données dans sa propre usine afin d'évaluer sa production et de l'améliorer. Une autre entreprise pourrait identifier chaque produit afin d'évaluer leur rapidité de livraison ou de conception. Une autre entreprise pourrait utiliser l'IoT afin d'offrir un service supplémentaire à leurs clients (p.ex., un service de livraison permettant de voir en temps réel où est l'article commandé). C'est dans ce passage vers le processus d'ajout de service que nous avons notés une lacune scientifique. Les articles issus de cette revue de la littérature sur le sujet du PSS ou de la servitisation ne sont pas très précis sur le domaine et n'aident pas à comprendre la réelle problématique et ses pistes de solutions.

Durant cette première revue de littérature, l'IoT industriel a émergé comme une piste de solution. Notamment la conception d'une solution d'analytique embarquée dans les équipements manufacturier permettrait notamment d'augmenter la valeur des entreprises, tout en passant vers le 4.0. Toutefois, la première revue de littérature ne nous permettait pas de faire avancer la science d'avantage puisqu'elle était de nature exploratoire, et donc trop large pour avoir un réel impact.



Une seconde revue de littérature centrée sur le sujet de la servitisation a été entamée dans le but de savoir plus sur l'impact de la servitisation dans les entreprises manufacturières par le biais d'IoT et des solutions d'analytiques. La recherche d'articles avait pour but de comparer la valeur des solutions d'analytiques basés sur l'IoT, selon une perspective client. Les articles scientifiques ont été extraits, en décembre 2017, de 4 bases de données, soit : ABI Inform, Business Source Complete, Science Direct et Scopus. Nous avons utilisé les mots clés : Servitization, PSS, product-service-system, Product-attached service, analytic solution, predictive solutions, service-attached product, machine-tools, combinés aux mots : Manufacturing, manufactory, factory, production, industry 4.0, Made in China 2025, manuf\*. Nous avons sélectionné des articles en français et en anglais et nous n'avons pas mis de limite de dates. Évidemment, nous avons aussi sélectionné les articles scientifiques évalués par les pairs. Suivant cette extraction, 135 articles se sont retrouvés entre nos mains. À la suite d'une suppression des doublons et d'une élimination des articles en fonction de la cohérence entre leur résumé et notre sujet, nous nous sommes retrouvés avec 39 articles portant sur le sujet lié directement au sujet de recherche.

Résultant de cette revue de littérature, nous avons premièrement ressorti les définitions qui nous permettent d'avoir une connaissance des concepts de bases de façon uniforme. Tout d'abord il existe plusieurs définitions du concept de la servitisation dans la littérature scientifique. Voici celles que nous avons prélevé des articles de la revue de la littérature.

Tableau 1 : Les définitions de la servitisation

<b>(Auteur, date)</b>	<b>Définition</b>
(Vandermerwe and Rada 1988)	“Market packages or ‘bundles’ of customer-focussed combinations of goods, services, support, self-service and knowledge”
(Neely 2008)	“Servitization involves the innovation of an organisation’s capabilities and processes so that it can better create mutual value through a shift from selling product to selling Product–Service Systems.”
(T. S. Baines et al. 2009a)	“Servitization is the term given to a transformation where manufacturers increasingly offer services that are tightly coupled to their products”

(Demeter and Szász 2013)	“Servitization denotes the process by which the output of manufacturing companies is shifting from delivering pure physical products towards offering a bundle of products and services.”
--------------------------	---

Suivant ces définitions, nous avons retenu celle de Baines et al. (2009) qui est un des acteurs influents dans le domaine de la recherche sur la servitisation des entreprises.

Pour les définitions par rapport aux autres concepts, nous avons retenu celles figurant dans le Tableau 2.

Tableau 2 : Les définitions retenues selon la littérature scientifique

<b>(Auteur, date)</b>	<b>Définition</b>
(Vandermerwe and Rada 1988)	<b>Service:</b> “[...] services are performed rather than produced and are essentially intangible.”
(Goedkoop 1999)	<b>Product-Service-System (PSS):</b> “Product-Service-System (PSS) is an integrated product and service offering that delivers value in use.”
(Neely 2008)	<b>Servitized Organisation designs:</b> “A Servitized Organisation designs, builds and delivers one or more integrated product and service offerings that deliver value in use.”
(Osterwalder and Pigneur 2013)	<b>Business models:</b> “Business models are representations of companies' strategies, operations and relationships that define their business logic. It can be considered a conceptual tool that helps companies to identify, understand, design, analyze, and change their business models”

Suivant la lecture des articles, nous avons identifié une autre lacune au sujet de la servitisation basée sur l’IoT. Il existe des solutions d’analytique dites génériques, mais dans la littérature scientifique la valeur de ces solutions génériques n’a pas été comparée aux solutions spécialisées. Plusieurs entreprises souhaitent apporter de la valeur à leur entreprise avec l’ajout d’une solution d’analytique à leurs équipements. Toutefois, il leur reste à apprendre d’une part comment y

parvenir et d'une autre part comment réduire le plus possible la menace des autres fournisseurs de solutions d'analytique. Puisque notre objectif premier est de comparer les solutions d'analytique, nous avons extrait tous les conseils pratiques de la littérature qui permettent aux entreprises manufacturières de faciliter leur processus de servitisation. En somme, Vandermerwere et Rada (1988) ont débuté l'aire de la servitisation par des questionnements qu'un entrepreneur voulant passer au PSS devrait se poser (voir Tableau 3).

Tableau 3 : Les définitions retenues selon la littérature scientifique

Questionnement de Vandermerwere et Rada 1998
1) Dans quel secteur d'activité sommes-nous?
2) Dans quel secteur d'activité pourrions-nous être?
3) Dans quel secteur d'activité devrions-nous être?
4) Qui d'autre pourrait y être?
5) Dans quel secteur d'activité voulons-nous être?

Ces questionnements permettent, toujours selon Vandermerwere et Rada (1998), de bien préparer son entreprise et orienter ses pensées vers un processus de servitisation.

Quelques années plus tard, le sujet de la servitisation est devenu populaire dans la littérature scientifique, notamment grâce à l'impact des IoT qui permet entre autres aux entreprises manufacturières de passer au PSS. L'impact de cette servitisation basé sur l'IoT est toutefois exploré par Neely (Neely 2008) qui explique que les entreprises ayant un modèle PSS génèrent normalement un revenu supérieur, mais ont tendance à générer un pourcentage de profit inférieur à ce qu'ils faisaient avant. La raison principale est due à une augmentation des employés, puisqu'une équipe doit être créée afin de gérer convenablement l'aspect service, qui n'était pas présent avant le processus de servitisation. C'est ce que plusieurs appellent le Paradoxe de la servitisation, de l'anglais, *Servitization Paradox* (Kastalli and Van Looy 2013; Baines and Lightfoot 2014; Neely 2008). Neely (Neely 2008) explique toutefois que ce paradoxe vise principalement les grandes entreprises (plus de 3000 employés), dans le cas des petites entreprises, le revenu et le pourcentage de profit ont tendance à augmenter. Neely (Neely 2008) complète ainsi son analyse de la servitisation en y montrant deux perspectives. La première est celle que les fournisseurs voient la servitisation comme une façon d'augmenter leurs revenus, tandis que la

deuxième perspective est que les clients voient la servitisation comme une façon de réduire le risque lié à l'utilisation de leur équipement, notamment grâce aux solutions d'analyses prédictives. Dans le même ordre d'idée, plusieurs auteurs (Baines, Lightfoot, and Smart 2011) expliquent que la valeur perçue du client est centrée sur le résultat de l'équipement et que celui-ci peut être mesuré par le taux de rendement global (TRG). Celui-ci se calcule en fonction de la disponibilité, la qualité et l'efficacité de l'équipement.

Maintenant que nous comprenons l'impact de la servitisation dans les entreprises manufacturières, les travaux issus de la littérature ont tenté d'aider ces entreprises en leur donnant des conseils. Barquet et al. (2013) explique notamment que le processus de servitisation devrait se faire de façon la plus incrémentale possible. Un changement radical augmenterait l'impact et le risque lié au changement de modèle d'affaires de l'entreprise.

Plusieurs auteurs (T. Baines 2015; T. S. Baines et al. 2009a; Peillon 2016; Neely 2008; Gebauer and Putz 2007; Gebauer, Edvardsson, and Bjurko 2010) ont notés que l'un des éléments importants lors du passage à la servitisation est que les manufactures PSS doivent investir un montant considérable en ressources humaines. C'est l'un des éléments qui est le plus négligé lors d'un passage au PSS, mais c'est aussi l'un des aspects qui implique le plus grand taux d'échec. Il ne faut pas s'arrêter à simplement développer un nouveau produit, mais aussi adopter une nouvelle culture organisationnelle dans l'ensemble qui est orienté service. Selon Gebauer (Gebauer and Putz 2007), une gestion des ressources humaines orientée service doit couvrir trois dimensions, le recrutement, la formation et la rémunération du personnel. Pour le recrutement, les capacités du personnel doivent avoir une solide base technique, une attitude centrée sur le client et des compétences relationnelles. Les employés recherchés dans les entreprises orientées service ne sont pas les mêmes que ceux dans les entreprises manufacturières traditionnelles. Selon Peillon et Neely (2016; 2008), une culture orientée service devrait être à la recherche de personnes ayant une orientation entrepreneuriale, une flexibilité et un goût pour la résolution de problème. Une entreprise manufacturière traditionnelle est davantage à la recherche d'employés orientés vers l'ingénierie que l'entrepreneuriat.

La revue de littérature a permis de comprendre que des entreprises non spécialisées offraient des solutions d'analytique qui semblaient, selon elles, tout aussi performantes que les solutions offertes directement par les équipementiers. En aucun cas dans la littérature scientifique, les auteurs n'ont comparé la valeur de ces solutions d'analytique génériques avec celle des équipementiers. Nous avons donc décidé d'orienter notre recherche afin de découvrir quelle est la valeur qu'une solution d'analytique spécialisée et originale apporte par rapport aux solutions d'analytique génériques. Bien que la servitisation en soi n'est pas considérée comme une partie de l'Industrie 4.0, nous croyons que dans le contexte où cette servitisation est effectuée grâce à l'implantation d'une solution d'analytique basée sur l'IoT, le big data, l'analytique avancée et l'infonuagique, la servitisation peut être vue comme un moyen de parvenir au 4.0.

Dans un article sur le futur de la servitisation (Dinges et al. 2015), les auteurs ont effectué une étude sur les technologies qui permettront aux entreprises manufacturières de conserver leur avantage compétitif par le biais de la servitisation. Ils ont fait une étude auprès d'experts académiques sur la servitisation ainsi qu'auprès d'entreprises manufacturières. Cinq technologies ont été notées comme les plus importantes autant du côté académique qu'en entreprise. L'une de ces technologies est l'ajout d'une solution d'analyse prédictive. Suivant ce résultat, ils ont aussi décelé plusieurs technologies qui pourraient être intégrées dans une solution d'analytique prédictive afin d'y ajouter de la valeur soit : le support sur les pièces de rechange, la surveillance de la consommation, la compatibilité à un CRM/ERP et l'analyse basée sur des cas. Ces technologies sont intéressantes pour nous afin de mesurer la valeur des solutions d'analytique d'un point de vue multicritère.

L'un des apports scientifiques qui nous ont fait réfléchir le plus est celui de Rajala (Rajala et al. 2013) qui dit que l'un des éléments clés pour les entreprises qui ont réussi est de comprendre et de clairement définir les besoins du client. Ils ont analysé le modèle d'affaires de leur client afin de comprendre comment la valeur est délivrée. En effet, nous avons noté que dans la littérature scientifique, la majorité des auteurs orientent l'impact de la servitisation et leur aide à la création de ce service en fonction du modèle d'affaires de l'entreprise qui effectue le service, et non en fonction du modèle d'affaires du client. C'est pourquoi compte tenu de notre objectif, nous allons effectuer une étude de cas combiné à une approche multicritère, en y incluant les clients. Nous

allons proposer une grille d'évaluation des solutions d'analytique afin de bien répondre à cet objectif.

### 3. MÉTHODOLOGIE

Puisqu'il s'agit de l'une des premières études dans le domaine de la valeur des solutions d'analytiques génériques et spécialisés, nous avons choisi une démarche de nature exploratoire empirique, combinant deux approches scientifiques, c.-à-d. une revue systématique de littérature, suivie d'une étude de cas unique combinée à une approche multicritères, organisée en différentes étapes. Les étapes de notre approche scientifique sont décrites dans les prochaines sous-sections.

#### 3.1 Revue de littérature systématique

Notre démarche afin de déterminer les critères qui nous permettent de créer l'outil de comparaison des solutions analytiques débute par la littérature scientifique. La revue de littérature systématique nous a permis de découvrir plusieurs critères importants concernant la comparaison de solutions d'analytique du point de vue de la valeur ajoutée au client. Ces critères nous ont aidés à créer une approche pour évaluer la valeur ajoutée à la solution. Ces critères sont présentés à la section 4 (résultats).

#### 3.2 Étude de cas

##### 3.2.1 Étude de cas - Planification

La deuxième étape consiste à faire une étude de cas. Nous avons suivi la démarche proposée par Yin (2009) pour les études de cas, tel que résumé à la Figure 4. La première étape d'une étude de cas consiste à la planification. Il faut donc identifier nos questions de recherche, décider la méthode d'étude de cas à utiliser et comprendre ses forces et faiblesses. Pour y arriver, nous avons choisi une entreprise manufacturière voulant passer au 4.0 par le biais de la servitisation, notamment avec une solution d'analytique. Un partenariat avec une entreprise manufacturière a donc été effectué afin de les aider vers le passage au 4.0. L'entreprise est dans le secteur des machine-tools. Elle conçoit des équipements qui seront ensuite utilisés par ses clients. Ils étaient conscients qu'ils devaient faire le passage vers l'industrie 4.0 afin de rester compétitifs et voulaient mettre les technologies et l'innovation de l'avant dans leur entreprise. L'une des problématiques majeures

exprimées par des membres de l'entreprise est qu'ils ne savaient pas par où commencer ni comment passer concrètement au 4.0. Cette entreprise étant équipementiers avait déjà un lot de capteurs embarqués dans leurs équipements. Toutefois, ils ne savaient pas comment en tirer avantage et passer officiellement au 4.0. La revue de littérature nous a d'ailleurs permis de les diriger vers le domaine de la servitisation par le biais de l'IoT.

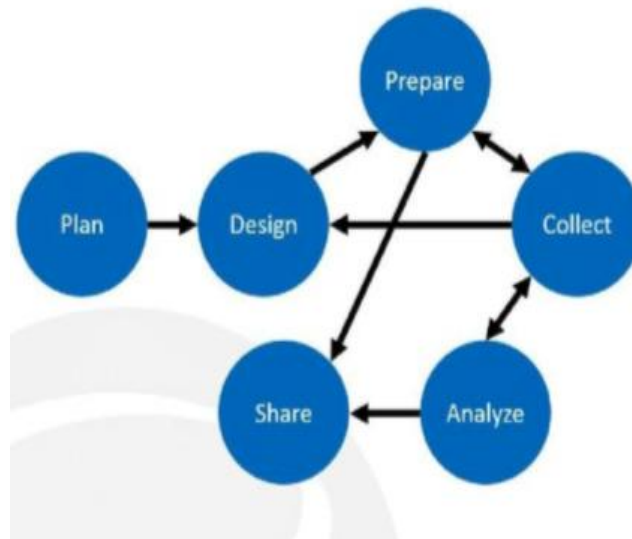


Figure 4. Conception et méthodes de recherche sur l'étude de cas (Yin 2013)

### 3.2.2 Étude de cas – « Design » et cadre théorique

La prochaine étape du projet suivant le modèle de Yin (2009) est le design. Il faut alors définir le cas qui sera étudié. Pour notre part, il s'agit du cas de servitisation d'entreprise manufacturière à l'aide d'une solution d'analytique. C'est à cette étape que nous avons défini une procédure afin de garder la qualité à travers l'étude de cas. Nous avons conservé notre question initiale qui est : Dans quelle mesure les solutions d'analytiques spécialisées et originales offertes par les équipementiers de machine-tool du type PME peuvent être comparées aux solutions génériques distribuées par les grandes entreprises multinationales en fonction de leur valeur perçue dans une perspective multicritère? Notre façon d'apporter une piste de solution pour cette question réside dans l'élaboration d'une grille d'évaluation multicritère des solutions d'analytique. La grille d'évaluation permet, aux entreprises d'évaluer leur solution en se basant sur un nombre de critères prédéfinis. À la base, il s'agit d'un cadre théorique sur les critères les plus importants, mais organisés en format de tableau (grille). Les résultats sont basés entre autres sur les besoins du



client, tel que le suggère Rajala (Rajala et al. 2013). Les avantages à avoir une grille d'évaluation basée sur le client sont nombreux. Tout d'abord, les entreprises voulant passer à la servitisation pourront orienter le développement de leur solution en fonction de leurs clients, mais aussi déceler les menaces des compétiteurs génériques. Du côté académique, cette grille de comparaison permet l'ouverture des premières recherches comparant les solutions génériques et spécialisées, centrées sur le client.

Pour choisir les critères qui sont dans cette grille de comparaison, nous avons choisi quatre sources de données. La première source est la littérature scientifique, la seconde est les utilisateurs de la solution d'analytique et la troisième est les concepteurs des machines à outils qui passent vers une servitisation d'entreprise, afin d'offrir une solution d'analytique. La dernière source est les experts dans le domaine du manufacturier innovant, notamment les solutions d'analytique. La Figure 5 correspond au cadre utilisé pour le choix des critères de comparaisons.

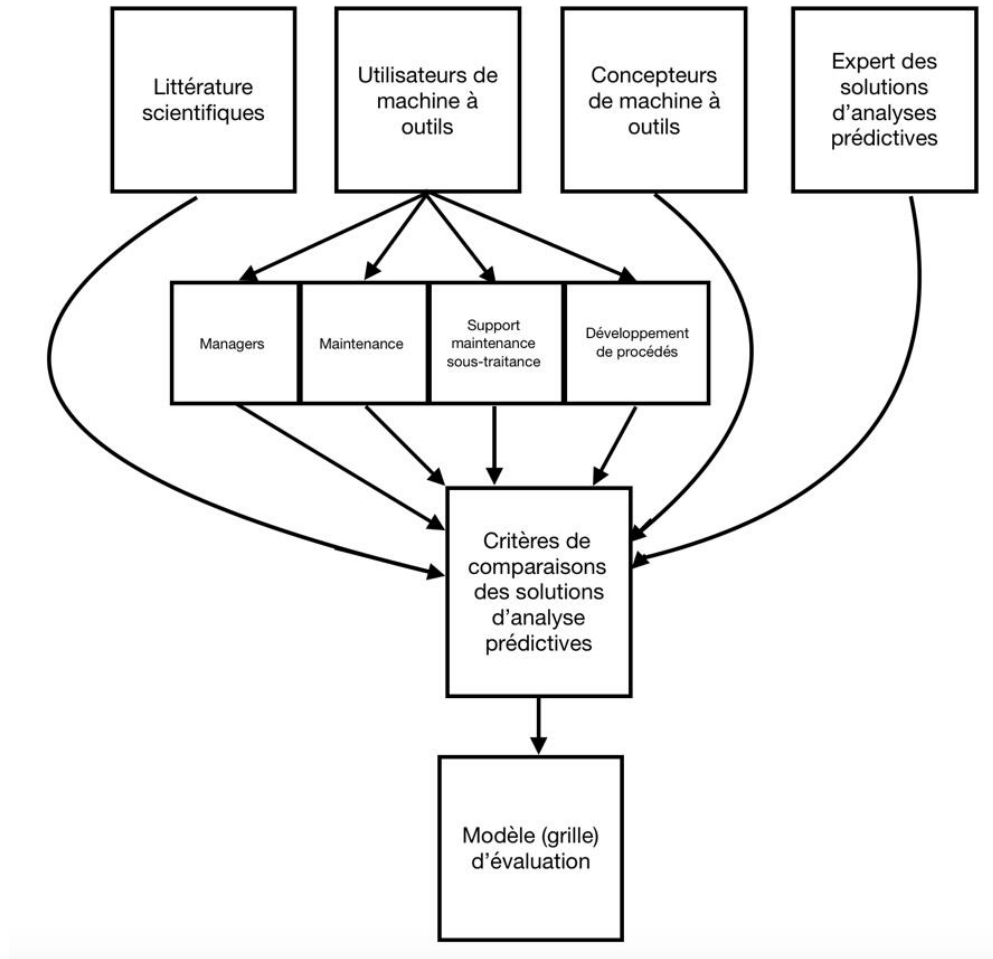


Figure 5 : Cadre pour les sources des critères de comparaison

La collecte de donnée provenant des utilisateurs de machine à outils et des concepteurs de machine à outils a été obtenue via des entretiens semi-structurés (voir guide d'entretien annexe A).

Afin de choisir les personnes qui participeront à l'étude, nous avons ciblé deux types de profils :

A) La direction de l'entreprise partenaire afin de comprendre les changements qui sont apportés à son modèle d'affaires et leur vision de l'ajout d'une solution d'analytique du point de vue de la valeur client. Les personnes interviewées avaient les postes suivants :

- Directeur marketing et développement des affaires
- Responsable service après-vente
- Directeur des ventes
- Directeur de produits
- Directeur technique, ventes et innovation

Ces cinq types de postes nous ont permis d'obtenir un large spectre de critères pour évaluer une solution d'analytique, mais aussi pour bien comprendre le fonctionnement de l'entreprise afin de la guider dans son processus de servitisation.

B) Des utilisateurs de solutions d'analytiques : afin d'avoir une compréhension de la perception du marché sur la solution d'analytique de l'entreprise étudiée, nous avons interviewé des clients directs de l'entreprise. Pour ce faire, nous avons utilisé les critères d'inclusions suivants: les personnes interviewées sont des clients de l'entreprise partenaire, puisque nous souhaitons évaluer comment ils perçoivent la valeur ajoutée de cette servitisation, mais aussi connaître les critères qu'ils trouvent importants, autant d'un point de vue managérial qu'opérationnel. Ils devaient donc être ouverts à la collaboration du projet et être dans un poste relié à l'utilisation de la solution d'analytique ou à la stratégie d'entreprise. Nous avons interviewé des personnes dans des types de postes suivants afin d'avoir une ouverture englobante des utilisations de la solution d'analytique :

- Management
- Maintenance
- Support maintenance, sous-traitance
- Développement de procédés

Afin de nous aider à réaliser ces entretiens, nous avons utilisé un « Guide d'entrevue ». Ce guide suit essentiellement les éléments centraux de notre cadre théorique, mélangeant de notions de Modèle d'affaires (Osterwalder and Pigneur 2013), de PSS (Tukker 2004) et de l'IoT (Atzori, Iera, and Morabito 2010).

Il est important de souligner que chaque entrevue a duré environ 1h30. Ces entrevues furent enregistrées avec l'accord du participant qui a signé un avis de consentement préalablement fourni. Les enregistrements audios furent aussi stockés directement dans l'ordinateur portable de l'étudiant chercheur. Suite à la retranscription des données en format électronique (en éliminant les mots permettant d'identifier la personne interviewée), nous avons détruit les enregistrements audio et conservés uniquement les dossiers en format électronique en deux copies sur un dossier « Cloud », protégé par mot de passe et crypté 256 bits, de même que sur l'ordinateur de l'étudiant

chercheur, qui a analysé les données (sous un dossier protégé aussi par mot de passe et crypté APFS, ce qui correspond aux meilleures normes en termes de sécurité). Ce projet a été approuvé par le comité d'éthique de la recherche de l'Université de Sherbrooke. Durant ces neuf entrevues, les participants étaient soumis à une guide d'entrevue avec des questions semi-dirigées auxquels ils devaient répondre au meilleur de leur connaissance. Durant ces entrevues, chaque membre apportait des points importants concernant le développement de la solution d'analytique et de la valeur apportées par celle-ci. Plusieurs passages marquants nous ont permis de comprendre comment les différents acteurs percevaient l'arrivée de la solution 4.0 et comment cette solution impacterait leur travail. De plus, plusieurs personnes ont proposé des critères qu'ils jugeaient importants afin que la solution apporte de la valeur à leur travail. Par exemple, l'un des employés de maintenance du côté client nous a dit que les critères qu'ils trouvaient les plus importants dans ce type de solution étaient le support à la maintenance (troubleshooting) afin de l'aider à diagnostiquer le problème relatif à l'utilisation de l'équipement. Du côté de la direction de l'entreprise, les critères les plus importants pour eux étaient liés au support à la décision. En bref, ils voulaient que la solution puisse les aider à prévoir leur production et à optimiser les coûts. Ces différences en termes de critères qui ajoutent de la valeur représentent un biais possible quant à l'importance des critères. En effet, les employés en question associaient tous les critères importants dès que les critères les aidaient dans leurs tâches personnelles.

Suivant ce possible biais dans les données, nous avons pris la décision de pondérer ces critères à l'aide d'un expert externe à l'entreprise. Nous avons donc simplement décelé les critères fournis par les personnes faisant partie de la portion client afin d'éviter que les données soient biaisées. L'expert avait donc comme mandat de nous aider à pondérer ces critères du point de vue de l'entreprise, dans une perspective d'évolution de l'entreprise. Le critère qui permettrait à l'entreprise d'évoluer et d'améliorer sa valeur sur le marché serait donc placé en premier et ainsi de suite jusqu'au critère classé comme le moins important.

### 3.2.3 Étude de cas – « Préparation »

À cette étape, nous nous sommes préparés pour l'étude de cas combinée à une approche multicritères. Nous avons donc préparé les questions préparatoires à l'entrevue et nous avons fait approuver nos questions et nos méthodes par le comité d'éthique de l'Université de Sherbrooke. Notre protocole d'étude de cas nous a permis d'avoir une organisation claire de nos données suivant les entrevues, mais aussi de nous guider vers l'utilisation et le classement de celles-ci. Les étapes donnant suite aux entrevues sont les suivantes :

- Importation des résultats dans un tableau.
- Mise en commun des résultats semblables.
- Choix de solution génériques à analyser afin de comparer la solution et d'y ressortir celle qui présente la meilleure valeur perçue pour le client.
- Collecte des données des solutions génériques en utilisant les ressources à notre disposition. Eg. Site web, contact, experts des solutions d'analytiques.
- Importation des données dans l'outil de comparaison des solutions d'analytiques
- Utilisation de la méthode TOPSIS pour classer les différentes solutions d'analytique
- Résultat des solutions d'analytiques favorables et défavorables en fonction du client.

### 3.2.4 Étude de cas – « Collecte »

À l'étape de collecte proposée par Yin (2009), il faut notamment suivre le protocole d'étude de cas préalablement établi, créer une base de données de notre étude de cas pour recevoir les réponses, utiliser des preuves multiples et garder ces preuves. Nos entrevues se sont déroulées dans les bureaux de l'entreprise partenaire et de ses clients. Pour la sélection des solutions d'analytique génériques, nous avons utilisé les critères de sélections suivants : L'entreprise offre une solution d'analytique pour des équipements manufacturiers; sa solution peut être utilisée pour des machines à outils; les données relatives aux critères de sélection sont disponibles sur le site web ou accessibles via une personne-ressource interne ou externe à l'entreprise. Les données provenant des entreprises et des entrevues seront stockées en lieu sûr. La méthode pour acquérir ces données et les entreposer a été approuvée par le comité d'éthique et de recherches de l'Université de Sherbrooke.

### 3.2.5 Étude de cas – « Analyse »

L'avant-dernière étape proposée par Yin (2009) est l'analyse des résultats. Il faut se baser sur des propositions théoriques et stratégiques et utiliser la technique d'analyse de résultat appropriée selon la source de nos données (qualitative/quantitative). Ensuite il faut exposer les résultats dans le but de les interpréter. Puisque les résultats des entrevues et de la littérature scientifique ont servi à créer une grille de comparaison multicritères des solutions d'analytiques, nous avons choisi les critères en fonction de leur pertinence et de leur redondance. De toute évidence, une grille multicritère de comparaison ne serait pas efficace sans une méthode d'analyse pertinente. Suite à une analyse des différentes méthodes, nous avons décidé que la méthode de classement des résultats appelée TOPSIS serait la plus adaptée à notre grille multicritère.

TOPSIS est une méthode multicritères bien reconnue qui présente une acceptabilité générale dans de nombreux problèmes et domaines (Chen and Hwang 1992). La méthode TOPSIS nous permet d'obtenir la meilleure alternative et évite autant que possible le risque (Abo-Sinna and Amer 2005).

Cette recherche comporte une liste de critères établis qui seront utilisés pour évaluer la solution d'analytique spécialisée et ses concurrents génériques. Comme il existe des critères plus importants selon le client, la méthode TOPSIS permet de trouver la meilleure alternative en suivant ces pondérations et restrictions, ce qui donne une option plus précise des résultats. En plus d'être l'une des méthodes les plus simples, les résultats sont fiables et faciles à comprendre. (Abo-Sinna and Amer 2005). Cette méthode sera expliquée en détail à la section 4 de ce mémoire.

Pour ce qui est de la pondération, nous avons choisi un expert des solutions d'analytique afin d'établir la pondération des critères selon la perspective du client. D'une part nous voulions réduire le biais causé par une pondération effectuée par des employés utilisateurs de la solution, mais aussi obtenir un avis externe en ce qui a trait aux critères sélectionnés. Il est à noter que l'utilisation d'un expert peut aussi représenter un risque de biais. Toutefois, lors de la pondération, l'expert ne savait pas l'évaluation que nous avions de chaque critère. Il exprimait chaque critère selon une échelle de 0 à 10, où 10 était le plus important, et il devait ensuite expliquer pourquoi il donnerait cette

pondération à chacun des critères. De toute évidence le risque de biais ne peut pas être éliminé à 100%. Toutefois, la pondération des résultats n'est pas l'objectif principal de cette recherche. En effet, pour l'entreprise partenaire les critères seront intéressants afin de développer la solution la plus efficacement possible, mais l'objectif principal est d'établir une méthode et une liste de critères pour évaluer la valeur d'une solution d'analytique. La pondération n'est ici présente qu'à titre de test de l'outil que nous développons. Dans la mesure où un chercheur ou une entreprise veut utiliser cette grille d'évaluation des solutions d'analytiques, il devra effectuer une pondération des critères en premiers lieux puisque ceux-ci sont relatifs à l'industrie.

### 3.2.6 Étude de cas – « Partage »

La dernière étape consiste à définir l'audience à qui s'adresse notre recherche, composer les textes et matériaux visuels permettant de montrer les preuves de nos conclusions et réviser le document. Pour notre part, suivant les évaluations de l'entreprise, nous avons documenté le processus ainsi que les impacts afin de faire avancer la recherche scientifique, tout en gardant la confidentialité de l'entreprise partenaire et des clients. Un article scientifique fut écrit avec les résultats pertinents. Cet article a été approuvé par l'entreprise partenaire, afin de s'assurer que les données confidentielles sont protégées. Ceci a permis à la science d'être plus précise sur le sujet, mais aussi d'offrir aux entreprises, d'orienter leur processus de servitisation. L'objectif de ce mémoire est non seulement d'obtenir une contribution académique et scientifique, mais aussi d'obtenir une contribution pratique pour les entreprises en fonction. L'article scientifique (Legault et al. 2019) a été évalué par les pairs (peer-reviewed) et a été choisi pour être présenté lors d'une conférence sur les « learning factories » intitulée : « 9th conference on learning factories, à Braunschweig, en Allemagne. » De plus, par la suite, il a été publié dans une édition spéciale de la revue indexée « *Procedia Manufacturing* » (d'Elsevier).

## 4. RÉSULTATS

Afin de dresser notre outil multicritère de comparaison des solutions d'analytiques, nous avons, comme mentionné précédemment, utilisé quatre sources de données, soit : la littérature scientifique, les concepteurs de machine à outils et de solutions d'analytiques, les utilisateurs de solutions d'analytiques et des experts dans le domaine des solutions d'analytiques.

La collecte de donnée nous a permis d'obtenir des critères importants pour la conception et l'évaluation d'une grille d'évaluation des solutions d'analytique. Suite à l'analyse des entrevues, nous avons extrait les critères importants pour chaque personne. Après six entrevues, dont quatre avec les utilisateurs de la solution et deux avec les partenaires de la solution, nous avons noté une certaine redondance des résultats. Ainsi les trois dernières entrevues ont confirmé l'importance de certains critères, mais n'ont pas permis d'en déceler de nouveaux.

Du côté de l'entreprise partenaire, plusieurs entrevues nous ont permis de comprendre comment le processus de conception de la solution et la priorisation des critères importants pour eux. Dans l'un des passages importants, le directeur marketing et recrutement des affaires a dit : « Le 4.0 tel que nous le concevons est une solution évolutive, qui se construit à travers le temps selon les considérations et le feedback de nos clients. Aujourd'hui notre travail est d'apporter sur le marché quelque chose [la solution d'analytique] qui est robuste qui a une valeur, mais qui n'est pas final, non plus. Donc, on veut que ça fasse assez de sens pour ce que soit vendu, mais on est prêt à la peaufiner et assurer une rétroaction intelligente pour amener la solution à se développer à travers le temps. [...] À date, on a six cerveaux qui sont autour de la table et qui essaient d'anticiper ces éléments-là [les critères afin de bâtir la solution d'analytique par priorité] ».

Ainsi, ils ont compris que la solution est évolutive, mais qu'une certaine portion de cette solution doit être évaluée d'avance afin d'offrir le plus rapidement possible de la valeur à la solution du point de vue du client. Nous avons aussi noté que notre travail était un réel besoin pour eux et qu'une liste de critères importants pour la conception d'une solution d'analyse classée par priorité, selon leur industrie, serait très avantageuse pour eux.



La combinaison entre les critères issus de la littérature, des entrevues et de l'expert nous a permis de créer une liste de critères, selon nous, assez spécifiques pour comparer une solution d'analytique spécialisée et générique. La section suivante explique comment nous avons créé l'outil de décision multicritère.

#### 4.1 Outil multicritère pour évaluer la valeur perçue des solutions

En suivant différentes méthodes de notre protocole, nous avons extrait des critères qui semblent être nécessaires afin d'évaluer la valeur perçue d'une solution d'analytique. Nous avons séparé ces critères en fonction de leur redondance et de leur pertinence en quatre différentes sections. Le Tableau 4 présente les titres et les définitions que nous avons données à chaque section de critères.

Tableau 4 : Les sections des critères de notre outil multicritères de comparaison des solutions d'analytique

Titre de la section	Définition
Essentiels	Les critères représentés dans cette section sont des critères de base pour définir une solution d'analytique. Ce sont les critères les plus populaires et les plus accessibles pour les entreprises à la recherche d'une solution d'analytique. Ils sont principalement de haut niveau et ne vont pas dans les détails complets de la solution, mais représentent rapidement et facilement l'efficacité et donnent un bon aperçu de la solution d'analytique.
Support à l'utilisation	Ces critères sont utiles principalement à l'utilisateur de la solution d'analytique. Puisque le haut taux de roulement des opérateurs de machinerie est souvent présent dans les entreprises manufacturières (Prism Economics & Analysis 2016), ces critères sont reliés à la formation des employés autant au niveau de la machinerie que de la solution d'analytique. Ce sont notamment des demandes provenant des entrevues effectuées avec les utilisateurs des solutions d'analytiques.
Support à la décision	Les critères de cette section apportent une précision quant à la profondeur de l'analytique fournie par la solution. Selon les utilisateurs de la solution, notamment les employés en management, une solution analytique devrait pouvoir aider non seulement dans les décisions opérationnelles, mais aussi dans des décisions tactiques et stratégiques. Les critères évaluent alors si ces demandes sont respectées, ce qui apporte une valeur additionnelle plus à la solution.
Suppléments	Les critères de cette section ne sont pas obligatoires pour une solution d'analytique. Toutefois, ils peuvent apporter une valeur considérable à la solution. La majorité des critères sont issus de la littérature scientifique, notamment le papier « The Future of Servitization Technologies » (Dinges et al. 2015) qui ouvre la porte sur les technologies qui pourraient être intéressantes, lorsque mise en lien avec la servitisation des entreprises. Plusieurs technologies sont directement liées aux solutions d'analytique, c'est pourquoi nous croyons qu'ils peuvent avoir une bonne valeur ajoutée.

## SECTION 1 : ESSENTIELS

### *Niveau d'analyse*

Le premier critère retenu est le **niveau d'analyse** que peut offrir la solution d'analytique. L'objectif derrière ce critère est de connaître les limites de la solution d'analytique. Plusieurs auteurs et experts d'Intelligences d'affaires notamment (Banerjee, Bandyopadhyay, and Acharya

2013) s'entendent sur un classement des données d'analytiques en quatre niveaux. Les quatre niveaux sont représentés dans le tableau 5 ci-dessous.

Tableau 5 : Types d'analyses

Niveau	Définition
Descriptif Niveau 1	<p>– La question à laquelle ce type d'analyse nous aide à répondre est: Qu'est-il arrivé?</p> <p>Selon Banerjee et al. (Banerjee, Bandyopadhyay, and Acharya 2013), l'analyse descriptive décrit un état selon différentes mesures pour nous aider à comprendre ce qui est arrivé à un moment précis.</p>
Diagnostic Niveau 2	<p>– La question à laquelle ce type d'analyse nous aide à répondre est: Pourquoi est-ce arrivé?</p> <p>Toujours selon Banerjee et al. (Banerjee, Bandyopadhyay, and Acharya 2013), l'analyse de type diagnostic évalue le « pourquoi » de quelque chose qui s'est produit dans le passé, en utilisant divers types de données dans le but de découvrir la racine d'un problème.</p>
Prédictif Niveau 3	<p>– La question à laquelle ce type d'analyse nous aide à répondre est : Que va-t-il se passer?</p> <p>Toujours selon Banerjee et al. (Banerjee, Bandyopadhyay, and Acharya 2013), l'analyse prédictive tente de prédire les résultats futurs. Ce type d'analyse utilise normalement des techniques de statistique avancée ou des techniques de « data mining ».</p>
Prescriptif Niveau 4	<p>– La question à laquelle ce type d'analyse nous aide à répondre est : Que faut-il faire?</p> <p>Selon Banerjee et al. (Banerjee, Bandyopadhyay, and Acharya 2013), l'analyse prescriptive ne se limite pas à décrire, expliquer ou prédire. Il utilise les trois types d'analyse précédents afin d'aider l'utilisateur à savoir quoi faire afin d'atteindre le résultat souhaité. Ce type d'analyse nécessite souvent des techniques d'optimisation et de simulation.</p>

## Prix

Le deuxième critère retenu est le **prix** de la solution d'analytique. Selon différents fournisseurs de solution d'analytiques que nous avons évalués, il existe quatre types de tarifs pour une solution d'analytique. 1) Le prix est relatif à l'utilisation (pay-per-use) que ce soit par nombre d'utilisateurs ou par heure d'utilisation. 2) Le fournisseur de solution demande un prix mensuel/annuel afin d'utiliser sa solution, et ce peu importe l'utilisation. 3) La solution est vendue à prix fixe une seule fois. 4) La solution est vendue par module, payable mensuellement/annuellement.

Puisque les prix sont calculés sur différents types, nous avons utilisé la méthode TCO, soit de l'anglais (Total Cost of Ownership) afin d'équilibrer les prix sur une échelle semblable. Il existe un outil web ("Software TCO Calculator - SaaS vs. On-Premise Pricing") nous permettant de mesurer le TCO d'une solution en nous basant sur la durée de vie du logiciel. Puisque nous ne connaissons pas la durée de vie des logiciels d'analytique spécialisé, nous utiliserons la durée de vie des petits logiciels, sous la barre des dix millions de dollars en investissement, qui selon ("Commercial off the Shelf Software Shortens Complex Software Lifetime" 2013) serait situé entre six et huit ans avant d'avoir une mise à jour majeure. Ainsi, nous avons analysé le prix des solutions d'analytiques en utilisant le TCO basé sur une durée de vie de six ans.

### *Plateforme/Technologie*

Le troisième critère est la technologie utilisée pour fournir la solution d'analytiques. Il existe trois différents modes de technologies pour fournir un logiciel. Tel que décrit par Kari (2014), le premier mode consiste à offrir un logiciel comme un service, de l'anglais Software as a Service (SaaS). Le second mode est d'offrir le logiciel directement à l'utilisateur, sans avoir de service web relié. Ce dernier est souvent affilié à l'achat d'une licence et est souvent directement sur le serveur de l'entreprise qui l'achète. Le troisième mode est un hybride entre les deux autres solutions. Il comprend souvent une base de données gérée par le vendeur et le logiciel géré par l'acheteur.

### *Temps réel*

Le quatrième critère sert à savoir si la solution d'analytiques est en temps réel ou non. Dans la situation des machine-tools, nous considérons le temps réel comme une solution permettant de délivrer les résultats en moins de 15 minutes. Les utilisateurs des solutions d'analytiques nous ont fait part qu'il est important pour eux d'avoir le temps réel (<15 min.), surtout au niveau opérationnel. C'est pourquoi nous croyons que ce critère est important dans la grille multicritère d'évaluation des solutions d'analytiques.

### *Temps avant de fournir des prédictions*

Dans la mesure où la solution analysée permet le niveau d'analyse prédictive (voir premier critère, niveau d'analyse), il y aurait un certain délai avant que la solution d'analytique soit en mesure de fournir des prédictions. Ce délai correspond à la qualité des algorithmes utilisés et à la connaissance de l'équipement. Le temps avant de fournir des prédictions est calculée en jours suivants l'implantation complète de la solution d'analytique. Ce critère provient des entrevues avec les utilisateurs de la solution.

### *Temps d'implantation*

L'avant-dernier critère de cette section est le temps d'implantation. Nous considérons que le temps d'implantation est le temps entre le moment où le contrat, entre le fournisseur de solution d'analytique et l'utilisateur, est signé et le moment où la solution d'analytique est fonctionnelle. Une solution analytique qui bénéficie d'une implantation plus rapide sera donc avantagée par rapport à une solution qui est plus longue à installer. Ce critère provient des entrevues avec les concepteurs de solutions et des utilisateurs de la solution d'analytique.

### *Compatibilité matérielle*

Le dernier critère de la première section représente la compatibilité matérielle de la solution. Nous allons évaluer le critère sur une échelle de 4 points, 4 étant une compatibilité totale. Les points seront accordés en fonction de différents critères, soit 1) la variété de la machine et 2) L'âge maximal de la machine. Le tableau 6 ci-dessous présente la façon dont nous allons accorder les points.

Tableau 6: Pointage de compatibilité matérielle

<b>Titre</b>	<b>Définition</b>	<b>Points</b>
Aucune compatibilité	Le fournisseur de la solution n'offre pas de compatibilité matérielle avec l'équipement. La machinerie doit déjà être connectée et les données doivent déjà être sur le nuage.	0
Compatible aux années	Le fournisseur de la solution est capable de connecter une machine de n'importe quelle époque. (1 point si limite d'âge < 20 ans)	2
Compatible à la variété	Le fournisseur de la solution est capable de connecter tout type de machinerie, peu importe sa famille. (1 point si limite de variété < 2)	2
Compatibilité totale	Le fournisseur de la solution est capable de connecter tous les types de machinerie, peu importe son âge ou sa variété.	4

## Sommaire section 1: ESSENTIELS

Maintenant que nous avons défini les sept critères de la première section, voici un tableau qui présente l'aspect global de la première section de la grille de comparaison des solutions d'analytiques.

Tableau 7 : Sommaire de la première section de la grille de comparaison des solutions d'analytiques

<i>Essentiels</i>	<i>Définition</i>	<i>Source</i>
<b>Niveaux d'analyse</b>	Les 4 niveaux d'analyse <b>Niveau 1)</b> Descriptif: Que s'est-il passé? <b>Niveau 2)</b> Diagnostic: pourquoi est-ce arrivé? <b>Niveau 3)</b> Prédicatif: que va-t-il se passer? <b>Niveau 4)</b> Prescriptif: comment pouvons-nous y arriver?	Littérature, Client, Concepteur, Expert
<b>Prix</b>	Le prix de la solution	Client
<b>Plateforme / Technology</b>	Type de plateforme. 1 - Base de données locale, Acheter le logiciel (on-premise) 2 - Base de données en nuage, Acheter le logiciel (hybrid) 3 - Base de données en nuage et SaaS.	Client, Concepteur, Expert
<b>Temps réel</b>	Le délai entre le fonctionnement de la machine et la disponibilité des données sur le logiciel. <15 min	Client, Concepteur, Expert
<b>Temps avant de fournir des prédictions</b>	Le délai entre l'implantation et la première analyse prédictive.	Concepteur, Expert
<b>Temps d'implantation</b>	Le temps d'implantation	Client
<b>Compatibilité matérielle</b>	Le niveau de compatibilité matérielle de la solution	Littérature, Client, Concepteur, Expert

## SECTION 2 : SUPPORT À L'UTILISATION

La deuxième section de critère correspond au support à l'utilisation de la machinerie. Cette section combine des critères qui permettent aux différents utilisateurs, tels les opérateurs et les employés de maintenance, de détecter facilement des problèmes sur l'équipement et de faciliter l'utilisation de l'équipement. Les utilisateurs ainsi que les concepteurs de la machinerie sont d'avis que cette section est un ajout important, quoique non essentiel, à un système de maintenance prédictive. Les critères sont: Tutoriel, instruction d'opération, et de l'aide au dépannage, de l'anglais *troubleshooting*.

### *Tutoriel*

Le premier critère est défini comme un tutoriel permettant aux nouveaux utilisateurs, notamment les opérateurs, d'apprendre rapidement comment fonctionne la solution d'analytique associé, sans avoir recours à une formation nécessitant du capital humain. Ce qui, selon l'entrevue avec les utilisateurs de la solution prédictive, économise des coûts et répond à un problème relié au haut taux de roulement des opérateurs dans les entreprises manufacturières.

### *Instructions d'opérations*

Le second critère est défini comme des instructions permettant aux opérateurs d'utiliser l'équipement. Contrairement au critère précédent, qui était relié à la formation en lien avec la solution, ce critère centre sa formation sur l'utilisation de la machine qui est reliée à la solution d'analytique. Encore une fois, ceci économise des coûts et répond à un problème relié au haut taux de roulement des opérateurs dans les entreprises manufacturières.

### *Aide au dépannage, troubleshooting*

Le dernier critère de cette section est l'aide au dépannage. Ce critère provient d'un besoin demandé par l'employé de maintenance lors de l'entrevue. Il nous a fait part qu'il était parfois difficile de trouver le problème suite à un mal fonctionnement de l'équipement. Une solution prédictive complète devrait pouvoir aider un employé de maintenance à diagnostiquer le problème rapidement grâce aux capteurs connectés à l'équipement. De toute évidence, le travail de l'employé de maintenance serait beaucoup plus rapide et efficace avec cette fonctionnalité.

### *Sommaire section 2 : SUPPORT À L'UTILISATION*

Maintenant que nous avons défini les trois critères de la deuxième section, voici un tableau qui présente l'aspect global de celle-ci.



Tableau 8 : Sommaire de la deuxième section de la grille de comparaison des solutions d'analytique

<i>Support à l'utilisation</i>	<i>Définition</i>	<i>Source</i>
<b>Tutoriel</b>	Possède une sorte d'assistant ou de didacticiel expliquant comment utiliser la solution pour les nouveaux utilisateurs.	Client
<b>Instructions d'opérations</b>	Aide à donner des instructions aux opérateurs, par le biais (par exemple, des médias sociaux d'entreprise)	Client
<b>Aide au dépannage</b>	Aide les employés de maintenance à trouver le problème avec la machine	Client

### SECTION 3 : SUPPORT À LA DÉCISION

La troisième section correspond au support à la décision. Cette section vise principalement les employés de management de l'entreprise. Nous cherchons à savoir si la solution permet non seulement de mieux gérer l'équipement relié, mais aussi d'aider l'entreprise avec sa stratégie d'entreprise.

#### *Opérationnel*

Le premier critère de cette section sert à savoir si la solution d'analytique peut aider l'entreprise sur le plan opérationnel. Nous cherchons à savoir si la solution peut permettre au directeur de production de simplifier sa planification journalière.

#### *Tactique*

Le premier critère de cette section sert à savoir si la solution d'analytique peut aider l'entreprise sur le plan tactique. Nous cherchons à savoir si la solution permet au management de l'entreprise d'obtenir de l'aide pour sa planification moyen terme.

#### *Stratégique*

Le premier critère de cette section sert à savoir si la solution d'analytique peut aider l'entreprise sur le plan stratégique. Nous cherchons à savoir si la solution permet au management de l'entreprise d'obtenir de l'aide pour sa planification long terme.

### *Sommaire section 3 : SUPPORT À LA DÉCISION*

Maintenant que nous avons défini les trois critères de la troisième section, voici un tableau qui présente l'aspect global de celle-ci.

Tableau 9 : Sommaire de la troisième section de la grille de comparaison des solutions d'analytiques

<i>Support à la décision</i>	<i>Définition</i>	<i>Source</i>
<b>Opérationnel</b>	Aide à la planification opérationnelle (activités quotidiennes à court terme)	Littérature, Client
<b>Tactique</b>	Aide à la planification tactique (horizon à moyen terme, par exemple 1 à 18 mois)	Littérature, Client
<b>Stratégique</b>	Assistance à la planification stratégique (horizon à long terme, par exemple 5 ans et plus)	Littérature, Client

### SECTION 4 : SUPPLÉMENTS

La quatrième section correspond à des critères qui ne sont pas obligatoires pour une solution d'analytique, mais qui apporte une valeur perçue. La majorité des critères de cette section proviennent d'une étude réalisée par l'Université de Cambridge sur les nouvelles technologies liées à la servitisation (Dinges et al. 2015).

#### *Compatibilité d'interface mobile*

Ce critère permet de savoir si la solution d'analytique est compatible avec les appareils mobiles (exemple : téléphone cellulaire et tablettes). Cette compatibilité est importante pour les clients et pour les concepteurs de la solution.

#### *Niveau de support sur les pièces de rechange*

Dinges et al. (2015), dans son article sur le futur de la servitisation, nous explique que l'une des technologies liées à l'analyse prédictive est la commande automatisée des pièces de rechange. Il dit notamment que pour l'instant ce processus automatisé est trop complexe pour les entreprises manufacturières, mais il la classe quand même dans le top 10 des technologies de sa recherche. Même si son article date de 2015, et que la technologie à laquelle il fait référence est encore immature de nos jours, nous avons quand même décidé de l'inclure dans le but d'avoir un outil qui sera efficace au niveau pratique et académique pour encore quelques années. Afin de classer

les différentes solutions d’analytiques, nous avons séparé cette technologie en 4 différents niveaux, présentés dans le tableau 9.

Tableau 10: Niveau de support sur les pièces de rechange

Niveau	Définition
0	La solution d’analytique ne peut pas reconnaître les pièces.
1	La solution d’analytique peut reconnaître qu’il y a un problème avec une pièce.
2	La solution d’analytique peut reconnaître qu’il y a un problème avec une pièce et peut interagir avec l’employé de maintenance afin de l’aider au dépannage de la machine.
3	La solution d’analytique peut reconnaître qu’il y a un problème avec une pièce et interagir avec le fournisseur de la pièce afin d’aider à la gestion de l’inventaire ou commander la pièce.

#### *Surveillance de la consommation*

Toujours dans l’article sur les tendances en matière de servitisation (Dinges et al. 2015), l’une des technologies qui est classée dans le top 10 autant par les entreprises manufacturières que du côté académique est la surveillance de la consommation. Toujours selon Dinges et al., la surveillance de la consommation peut devenir rapidement un avantage compétitif, non seulement pour l’entreprise qui utilise l’équipement, mais aussi pour l’équipementier. Pour ces raisons, nous avons ajouté à notre grille de comparaison multicritères, la surveillance de consommation.

#### *Compatibilité à un CRM/ERP*

Ce critère sert à savoir si la solution d’analytique compatible avec un outil de gestion des relations client (CRM) et/ou à un ERP. Cette technologie a été classée 16<sup>e</sup> par les entreprises manufacturières dans l’article sur les tendances en matière de servitisation (Dinges et al. 2015).

### Analyse basée sur des cas

Ce critère est encore une fois extrait de l'article sur les tendances en matière de servitisation (Dinges et al. 2015). Nous cherchons à savoir si la solution peut utiliser ses expériences passées, que ce soit sur l'équipement analysé ou non, pour trouver des pistes de solutions à un problème ou aider dans l'analyse prédictive d'un équipement. Par exemple, si la solution est connectée sur 1000 machines et que l'une d'elles fait défaut, est-ce que l'algorithme est capable d'utiliser les données passées des 999 autres machines pour aider celle qui fait défaut.

### Sommaire section 4 : SUPPLÉMENTS

Maintenant que nous avons défini les trois critères de la quatrième section, le Tableau 11 présente l'aspect global de celle-ci.

Tableau 11 : Sommaire de la quatrième section de la grille de comparaison des solutions d'analytiques

<b>Suppléments</b>	<b>Définition</b>	<b>Source</b>
<b>Compatibilité d'interface mobile</b>	La solution est compatible avec les appareils mobiles (par exemple, tablette, smartphones)	Client, Concepteur
<b>Niveau de support sur les pièces de rechange</b>	Certaines solutions peuvent aider le préposé à la maintenance avec les pièces de rechange. Niveau 0 - Le logiciel ne peut pas reconnaître les pièces. Niveau 1 - Le logiciel peut reconnaître qu'il y a un problème avec une pièce. Niveau 2 - Le logiciel interagit avec l'utilisateur pour l'aider à trouver la pièce fautive. Niveau 3 - Le logiciel peut interagir avec le fournisseur de pièces de rechange (par exemple, pour la gestion des stocks).	Littérature, Client
<b>Surveillance de la consommation</b>	Le logiciel peut surveiller la consommation d'énergie de la machine	Littérature, Concepteur
<b>Compatibilité à un CRM/ERP</b>	Logiciel compatible avec les outils de gestion de la relation client (CRM) ou ERP	Littérature
<b>Analyse basée sur des cas</b>	Utiliser le savoir-faire du passé pour trouver des solutions aux problèmes existants et nouveaux.	Literature, Designer

Sommaire grille d'évaluation est présenté dans le Tableau 12.

Tableau 12 : Grille des critères d'évaluation des solutions d'analytique

<i>Essentiels</i>	<i>Définition</i>	<i>Source</i>
<b>Niveaux d'analyse</b>	Les 4 niveaux d'analyse <b>Niveau 1)</b> Descriptif: Que s'est-il passé? <b>Niveau 2)</b> Diagnostic: pourquoi est-ce arrivé? <b>Niveau 3)</b> Prédicatif: que va-t-il se passer? <b>Niveau 4)</b> Prescriptif: comment pouvons-nous y arriver?	Littérature, Client, Concepteur, Expert
<b>Prix</b>	Le prix de la solution	Client
<b>Plateforme / Technology</b>	Type de plateforme. 1 - Base de données locale, Acheter le logiciel (on-premise) 2 - Base de données en nuage, Acheter le logiciel (hybrid) 3 - Base de données en nuage et SaaS.	Client, Concepteur, Expert
<b>Temps réel</b>	Le délai entre le fonctionnement de la machine et la disponibilité des données sur le logiciel. <15 min	Client, Concepteur, Expert
<b>Temps avant de fournir des prédictions</b>	Le délai entre l'implantation et la première analyse prédictive.	Concepteur, Expert
<b>Temps d'implantation</b>	Le temps d'implantation	Client
<b>Compatibilité matérielle</b>	Le niveau de compatibilité matérielle de la solution	Littérature, Client, Concepteur, Expert
<i>Support à l'utilisation</i>	<i>Définition</i>	<i>Source</i>
<b>Tutoriel</b>	Possède une sorte d'assistant ou de didacticiel expliquant comment utiliser la solution pour les nouveaux utilisateurs.	Client
<b>Instructions d'opérations</b>	Aide à donner des instructions aux opérateurs, par le biais (par exemple, des médias sociaux d'entreprise)	Client
<b>Aide au dépannage</b>	Aide les employés de maintenance à trouver le problème avec la machine	Client
<i>Support à la décision</i>	<i>Définition</i>	<i>Source</i>
<b>Opérationnel</b>	Aide à la planification opérationnelle (activités quotidiennes à court terme)	Littérature, Client
<b>Tactique</b>	Aide à la planification tactique (horizon à moyen terme, par exemple 1 à 18 mois)	Littérature, Client
<b>Stratégique</b>	Assistance à la planification stratégique (horizon à long terme, par exemple 5 ans et plus)	Littérature, Client
<i>Suppléments</i>	<i>Définition</i>	<i>Source</i>
<b>Compatibilité d'interface mobile</b>	La solution est compatible avec les appareils mobiles (par exemple, tablette, smartphones)	Client, Concepteur
<b>Niveau de support sur les pièces de rechange</b>	Certaines solutions peuvent aider le préposé à la maintenance avec les pièces de rechange. Niveau 0 - Le logiciel ne peut pas reconnaître les pièces. Niveau 1 - Le logiciel peut reconnaître qu'il y a un problème avec une pièce. Niveau 2 - Le logiciel interagit avec l'utilisateur pour l'aider à trouver la pièce fautive. Niveau 3 - Le logiciel peut interagir avec le fournisseur de pièces de rechange (par exemple, pour la gestion des stocks).	Littérature, Client
<b>Surveillance de la consommation</b>	Le logiciel peut surveiller la consommation d'énergie de la machine	Littérature, Concepteur
<b>Compatibilité à un CRM/ERP</b>	Logiciel compatible avec les outils de gestion de la relation client (CRM) ou ERP	Littérature
<b>Analyse basée sur des cas</b>	Utiliser le savoir-faire du passé pour trouver des solutions aux problèmes existants et nouveaux.	Littérature, Designer

Afin d'appliquer la grille de comparaison des solutions d'analytique génériques et spécialisées, nous devons créer un tableau, et y inscrire chacun des critères du Tableau 12. De ce tableau, un ou des experts de solutions d'analytique devront pondérer les résultats selon une perspective client. Pour une évaluation plus précise dans un cas réel, l'idéal serait d'utiliser un panel d'expert associé à la méthode Delphi. Chacune des solutions sera alors évaluée selon chaque critère afin de créer une grille qui ressemble à celle du Tableau 13.

Tableau 13 : Présentation d'une grille en exemple

	LOA	PRICE	PLATFORM	REAL TIME	TIME PRED.	IMPL. TIME	HARD. COMP
Generic solution	2	-3	3	2	-1	-30	2
Siemens Mindsphere	4	-7	3	2	-3	-60	2
Rockwell automation	4	-6	3	2	-3	-60	2
SAP Leonardo	4	-6	3	2	-3	-70	2
Criteria Sign Range	1	0	1	1	0	0	1

La grille complète que nous avons créée pour ce cas est disponible en annexe (Annexe B). Suite à l'élaboration d'une grille complète, il reste alors la méthode d'analyse à appliquer afin de ressortir la solution qui apporte le plus de valeur pour le client, dans l'industrie choisie. Nous avons choisi d'utiliser TOPSIS pour l'analyse des résultats. L'explication du fonctionnement de cette méthode est décrite plus en détail dans la section 4.2.

## 4.2 Application de TOPSIS

Puisque notre objectif est de créer une grille d'évaluation multicritères permettant de comparer différentes solutions d'analytiques, nous devons utiliser une méthode d'analyse des résultats qui permet aux utilisateurs de donner des pondérations aux critères. Comme indiqué dans la section méthodologie, nous utiliserons la méthode TOPSIS, qui permet de classer les alternatives pour trouver la plus profitable, en utilisant des critères multiples (Abo-Sinna and Amer 2005). Le nom TOPSIS, provient de l'anglais, *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*.

C'est une méthode à critères multiples dans laquelle un ensemble fini d'alternatives est comparé entre eux (Gumus 2009). L'objectif est d'obtenir une solution qui soit la plus proche de la solution idéale et la plus éloignée de la solution négative idéale (Chen and Hwang 1992). La procédure TOPSIS est expliquée en plusieurs étapes:

Pour appliquer la méthode, il devrait y avoir un problème avec  $m$  alternatives et  $n$  critères pour former une matrice de décision avec les éléments  $X_{ij}$ .

La matrice de décision est notée  $D$  :

$$D = \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix}$$

Étape 1: Calculez la matrice de décision normalisée. La valeur normalisée  $r_{ij}$  est calculée comme suit:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}, \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n.$$

La matrice normalisée est notée  $R$ :

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & \cdots & r_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix}$$

Étape 2: Calculez la matrice de décision normalisée pondérée. La valeur normalisée pondérée  $v_{ij}$  est calculée comme suit:

$$v_{ij} = w_j r_{ij}, \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n.$$

Où  $w_j$  est le poids de l'attribut  $j$  et

La matrice normalisée pondérée est notée  $V$ :

$$V = \begin{bmatrix} v_{11} & \cdots & v_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ v_{m1} & \cdots & v_{mn} \end{bmatrix}$$

Étape 3: Déterminez la solution idéale ( $A^+$ ) et négative idéale ( $A^-$ ):

$$\begin{aligned} A^+ &= \{(\max_1 v_{ij} | j \in J), (\min_1 v_{ij} | j \in J') | i = 1, 2, \dots, m\} \\ &= \{v_1^+, v_2^+, \dots, v_j^+, \dots, v_n^+ \} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A^- &= \{(\min_1 v_{ij} | j \in J), (\max_1 v_{ij} | j \in J') | i = 1, 2, \dots, m\} \\ &= \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_j^-, \dots, v_n^- \} \end{aligned}$$

Où  $J = \{j = 1, 2, \dots, n | j \text{ associé au critère bénéfique}\}$

Où  $J' = \{j = 1, 2, \dots, n | j \text{ associé au critère de coût}\}$

Étape 4: Calculez les mesures de séparation. La séparation entre chaque alternative peut être mesurée par la distance euclidienne à  $n$  dimensions. La séparation de chaque alternative de la situation idéale est donnée par la formule suivante:

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2}, \quad i = 1, 2, \dots, m.$$

La séparation de chaque alternative de la situation d'idéal négatif est donnée par une formule similaire:

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2}, \quad i = 1, 2, \dots, m.$$



Étape 5: Calculez la proximité relative à la solution idéale. La proximité relative de  $A_i$  par rapport à  $A^+$  est définie comme suit:

$$C_i^+ = S_i^- / (S_i^+ + S_i^-), \quad 0 < C_i^+ < 1, \quad i = 1, 2, \dots, m.$$

Étape 6: Classer les alternatives dans l'ordre de préférence.

Pour utiliser cette méthodologie, les attributs doivent être numériques et également comparables. Nous avons choisi la méthode TOPSIS puisqu'elle permettait une bonne classification de nos données grâce aux critères négatifs. Certains de ses avantages sont que les critères négatifs et positifs sont pris en compte dans la prise de décision et qu'une mauvaise performance dans l'une des alternatives peut être annulée par une bonne performance dans d'autres alternatives. Par exemple, un critère positif est le niveau d'analyse. Plus il est élevé, plus il est favorable. À l'inverse, un critère négatif est le prix de la solution. Plus il est bas, le critère est favorable. De plus, comparativement aux autres méthodes d'analyse telles que AHP, FDAHP et SAW, TOPSIS est plus simple et plus rapide, tout en donnant des résultats pertinents et efficaces pour notre grille multicritères (Singh et al. 2016).

Nous avons conçu un tableau Excel afin d'y inscrire nos résultats et d'obtenir, selon les calculs présentés ci-haut, une classification des solutions d'analytiques relativement aux critères pondérés. Le tableau complet avec ses calculs est disponible à l'annexe B.

### 4.3 Comparatif des solutions

Afin de démontrer le fonctionnement de notre grille de comparaison des solutions d'analytiques, nous allons exposer une étude de cas. Nous avons choisi des solutions d'analytiques génériques qui correspondent aux critères d'inclusions suivants: l'entreprise offre une solution d'analytique pour des équipements manufacturiers; sa solution peut être utilisée pour des machines à outils; les données relatives aux critères de sélection sont disponibles sur le site web ou accessibles via une personne-ressource interne ou externe à l'entreprise.

Les fabricants pour lesquels nous avons effectué des recherches sont les suivants :

- SIEMENS
- SAP LEONARDO
- BOSCH
- GE PREDIX
- MACHINE BRAIN
- INDUCTIVE AUTOMATION
- WONDERWARE
- ROCKWELL AUTOMATION
- AUTOMATION INTELLECT

Suite à une analyse des données recueillies, seulement quatre entreprises avaient assez de données pour nous permettre d'effectuer une comparaison suivant nos critères combinés à la méthode TOPSIS. Les données des solutions génériques furent prises via leur site web, les brochures de ventes et détails techniques, ainsi que de clavardage en ligne avec le service à clientèle. Les solutions qui ont été évaluées sont les suivantes :

- **CONCEPTROMEC** – CMEC Predictive Solution (solution spécialisée)
- **SIEMENS** – Mindsphere (solution générique)
- **ROCKWELL AUTOMATION** – Rockwell Software (solution générique)
- **SAP Leonardo** – SAP (solution générique)

Puisque la méthode TOPSIS permet d'évaluer des critères de façon pondérée, nous avons fait appel à un expert des solutions d'analytiques pour nous aider à pondérer nos critères. Ce qui définit un expert dans le domaine est son expérience avec les solutions d'analytique ainsi que sa haute connaissance du domaine. Suivant le Tableau 14, les poids sont présentés par critères. Chaque poids a initialement été calculé sur une échelle de 1 à 10 (10 étant le plus important) et ensuite pondérée par rapport au total de points. Le total étant donc égal à 1.00.

Tableau 14 : Grille de présentation des critères et des poids associés

<i>Essentiels</i>	<i>Définition</i>	<i>Source</i>	<i>Échelle</i>	<i>Poids</i>
<b>Niveaux d'analyse</b>	Les 4 niveaux d'analyse <b>Niveau 1)</b> Descriptif: Que s'est-il passé? <b>Niveau 2)</b> Diagnostic: pourquoi est-ce arrivé? <b>Niveau 3)</b> Prédicatif: que va-t-il se passer? <b>Niveau 4)</b> Prescriptif: comment pouvons-nous y arriver?	Littérature, Client, Concepteur, Expert	1-4	0,050
<b>Prix</b>	Le prix de la solution	Client	\$0 - \$X	0,066
<b>Plateforme / Technology</b>	Type de plateforme. 1 - Base de données locale, Acheter le logiciel (on-premise) 2 - Base de données en nuage, Acheter le logiciel (hybrid) 3 - Base de données en nuage et SaaS.	Client, Concepteur, Expert	1-3	0,025
<b>Temps réel</b>	Le délai entre le fonctionnement de la machine et la disponibilité des données sur le logiciel. <15 min	Client, Concepteur, Expert	Oui - Non	0,075
<b>Temps avant de fournir des prédictions</b>	Le délai entre l'implantation et la première analyse prédictive.	Concepteur, Expert	0 - X Jours	0,041
<b>Temps d'implantation</b>	Le temps d'implantation	Client	0 - X Jours	0,066
<b>Compatibilité matérielle</b>	Le niveau de compatibilité matérielle de la solution	Littérature, Client, Concepteur, Expert	Oui - Non	0,075
<i>Support à l'utilisation</i>	<i>Définition</i>	<i>Source</i>	<i>Échelle</i>	<i>Poids</i>
<b>Tutoriel</b>	Possède une sorte d'assistant ou de didacticiel expliquant comment utiliser la solution pour les nouveaux utilisateurs.	Client	Oui - Non	0,075
<b>Instructions d'opérations</b>	Aide à donner des instructions aux opérateurs, par le biais (par exemple, des médias sociaux d'entreprise)	Client	Oui - Non	0,025
<b>Aide au dépannage</b>	Aide les employés de maintenance à trouver le problème avec la machine	Client	Oui - Non	0,017
<i>Support à la décision</i>	<i>Définition</i>	<i>Source</i>	<i>Échelle</i>	<i>Poids</i>
<b>Opérationnel</b>	Aide à la planification opérationnelle (activités quotidiennes à court terme)	Littérature, Client	Oui - Non	0,083
<b>Tactique</b>	Aide à la planification tactique (horizon à moyen terme, par exemple 1 à 18 mois)	Littérature, Client	Oui - Non	0,083
<b>Stratégique</b>	Assistance à la planification stratégique (horizon à long terme, par exemple 5 ans et plus)	Littérature, Client	Oui - Non	0,083
<i>Suppléments</i>	<i>Définition</i>	<i>Source</i>	<i>Échelle</i>	<i>Poids</i>
<b>Compatibilité d'interface mobile</b>	La solution est compatible avec les appareils mobiles (par exemple, tablette, smartphones)	Client, Concepteur	Oui - Non	0,046
<b>Niveau de support sur les pièces de rechange</b>	Certaines solutions peuvent aider le préposé à la maintenance avec les pièces de rechange. Niveau 0 - Le logiciel ne peut pas reconnaître les pièces. Niveau 1 - Le logiciel peut reconnaître qu'il y a un problème avec une pièce. Niveau 2 - Le logiciel interagit avec l'utilisateur pour l'aider à trouver la pièce fautive. Niveau 3 - Le logiciel peut interagir avec le fournisseur de pièces de rechange (par exemple, pour la gestion des stocks).	Littérature, Client	0-3	0,050
<b>Surveillance de la consommation</b>	Le logiciel peut surveiller la consommation d'énergie de la machine	Littérature, Concepteur	Oui - Non	0,066
<b>Compatibilité à un CRM/ERP</b>	Logiciel compatible avec les outils de gestion de la relation client (CRM) ou ERP	Littérature	Oui - Non	0,066
<b>Analyse basée sur des cas</b>	Utiliser le savoir-faire du passé pour trouver des solutions aux problèmes existants et nouveaux.	Littérature, Designer	Oui - Non	0,008

Tableau 15 : Résultats de la comparaison multicritères TOPSIS

<i>Ci+</i>	Rank	Solutions
0.5175	1	CMEC predictive solution
0.5018	2	SAP Leonardo
0.3811	3	Siemens
0.2804	4	Rockwell

## 5. DISCUSSIONS

Comme nous pouvons le voir dans le Tableau 15, la solution spécialisée de la PME semble présenter la meilleure valeur perçue, selon notre étude de cas exploratoire. En donnant une pondération égale à tous les critères, la solution d'analyse spécialisée de la PME serait en dernière position dans notre classement. Ceci dit, la pondération est très importante et elle dépend d'un type de marché à l'autre. Afin de bien utiliser notre grille de comparaison multicritères, le chercheur ou le concepteur de solution devra analyser son marché et effectuer la pondération des critères en fonction de son industrie. De plus, les  $Ci+$  de toutes les solutions sont loin d'être 1, la position idéale. Cela peut suggérer que les services proposés peuvent considérablement évoluer à l'avenir. Effectivement, les solutions d'analytiques dans ce secteur d'activité sont encore en phase de développement et sont encore loin d'être parfaites. Toutefois, elles ont déjà une valeur perçue par le client non négligeable. Néanmoins, la solution spécialisée que nous avons analysée semble présenter de bonnes caractéristiques comparatives, adaptées en quelque sorte aux exigences de son marché, ce qui leur permet de rester un peu en avance sur la concurrence.

Il est toutefois important de souligner que la solution générique SAP Leonardo est très proche de la solution spécialisée. Il est connu dans la littérature que les PME ont accès à des ressources limitées (ressources financières et humaines, par exemple). Par conséquent, certaines PME peuvent avoir du mal à tirer parti de leur R&D et à suivre le rythme du marché en constante évolution face aux grands concurrents. Il est impératif que les fabricants de machines-outils qui investissent dans la servitisation soient à l'affût des demandes des clients, en utilisant la proximité avec les clients pour spécialiser davantage leur offre dans les facteurs les plus importants. Les facteurs les plus importants sont présentés dans cette recherche en fonction des poids donnés. Toutefois, pour un autre secteur d'activité, il se pourrait que les poids ne soient pas les mêmes.

Les critères resteraient toutefois sensiblement les mêmes, peu importe le secteur d'activité, ce qui rend cette recherche intéressante à plusieurs niveaux.

Malgré le fait que certains critères sont plus importants que d'autres, la majorité des solutions analytiques présentent des résultats similaires sur les critères essentiels. D'autre part, les solutions analytiques génériques ont dépassé la solution PME en termes de prix et de temps de mise en œuvre. Les entreprises qui se tournent vers la servitisation via des solutions analytiques spécialisées (comme les clients de notre partenaire) sont probablement en mesure de proposer des stratégies de tarification moins coûteuses que les solutions génériques. Comme la PME spécialisée collecte normalement déjà des données à partir de machines-outils à d'autres fins (par exemple, compensation et ajustements d'outils), elle peut avoir un avantage en termes de granularité de la collecte de données, ce qui peut réduire les coûts et les prix. De plus, s'agissant de solutions spécialisées (non génériques), elles ont tendance à fournir des services plus sophistiqués et adaptés, en fonction des perspectives du client. Ceci est notable pour des critères tels que la compatibilité matérielle (interface compatibility), le temps réel (real time) et le niveau de pièces de rechange (spare parts level).

Il est également important de mentionner que, selon ce que nous avons observé dans notre étude de cas, les solutions génériques semblent trop mettre l'accent sur le niveau d'analyse. Bien que de nombreuses sociétés proposant des solutions génériques et spécialisées semblent croire que ce critère est essentiel sur le marché, elles devraient plutôt se concentrer sur la fourniture d'un support décisionnel de base aux clients, ce dernier ayant un poids plus important et semblant être une exigence négligée sur le marché. En effet, il serait plus avantageux pour l'instant d'avoir une solution qui est forte en support décisionnel, mais ne présentant qu'une analyse au niveau « diagnostic », plutôt qu'une solution qui présente une « analyse prescriptive », mais qui n'aide pas beaucoup dans le support décisionnel. L'une des hypothèses de cette affirmation est que les entreprises ne sont pas encore prêtes à réagir rapidement et efficacement à des données prédictives et prescriptives. Il faut une structure d'entreprise basée entièrement en fonction de la solution pour permettre ce genre de réponse. Toutefois, une solution offrant un support décisionnel permet au management de l'entreprise de comprendre leur équipement, tout en y intégrant la technologie.

## 6. CONCLUSION ET FUTURES RECHERCHES

Ce mémoire de recherche présente une étude de cas exploratoire combinant une méthode multicritère pour évaluer la valeur proposée par les solutions de servitisation basées sur l'IoT pour les machines à outils. Les résultats indiquent que les solutions clés en main génériques fournies par les grandes multinationales et les solutions spécialisées proposées par les PME sont en mesure d'ajouter une valeur aux à leur service grâce à leur solution d'analytique et ce même en étant en compétition contre de grandes entreprises. L'objectif principal de cette recherche n'est toutefois pas d'analyser un cas en particulier, mais plutôt d'offrir une approche afin de comparer les solutions d'analytiques pour des machines à outils. Selon le secteur d'activité et le type de machinerie, la pondération pourrait changer et le résultat serait donc totalement différent. Toutefois, les critères présentent une certaine fiabilité, peu importe le type de machine-tools et de solution d'analytique. Même dans le cas où un chercheur voudrait faire la comparaison de plusieurs choses selon une perspective multicritère, cette recherche fournit tout de même une approche basée sur les besoins réels et peut être réutilisée dans un contexte similaire. Afin de rehausser la précision des résultats dans un environnement réel, nous suggérons que le chercheur ou l'entreprise utilise un panel du type Delphi avec les experts. Ceci augmenterait la précision de la pondération et éviterait le biais causé par l'utilisation d'un seul expert ainsi que le côté subjectif.

Certaines lacunes spécifiques sont identifiées et des suggestions d'amélioration proposées. Ce travail est le premier à développer une approche comparative structurée pour comparer les tendances des valeurs de servitisation dans ce secteur industriel à partir de multiples perspectives (littérature, clients, concepteurs et experts). Du point de vue de la recherche, nos résultats permettent de mieux comprendre les exigences d'une solution d'analyse basée sur l'IoT dans le marché des machines-outils. Notre approche peut être utilisée par d'autres chercheurs pour analyser la valeur ajoutée des entreprises engagées dans un processus de servitisation dans ce domaine. Une limite se présente toutefois dans le fait que les critères de la grille d'évaluation ne sont pas à l'épreuve du temps. En effet, la majorité des critères sont des technologies qui seront désuètes dans quelques années et remplacées par des technologies plus innovantes et récentes.

Les contributions pratiques incluent une méthode permettant au fabricant de prendre une décision en connaissance de cause quant au choix des niveaux de service requis pour ses usines. En outre, les fabricants et les fournisseurs de solutions seront en mesure de mieux identifier, évaluer et comparer leurs forces et leurs faiblesses. Pour l'entreprise partenaire qui a participé à cette étude, son avantage réside dans une liste de critères pondérée selon son secteur d'activité et les besoins de ses clients. Ceci lui permettra donc d'améliorer continuellement sa solution d'analytique et de savoir quelle est la prochaine étape, afin de satisfaire les besoins de son client et d'ajouter de la valeur à sa solution.

Pour approfondir cette recherche exploratoire, nous cherchons à collecter davantage de données, principalement sur les perspectives des clients (inviter plus de clients de premier niveau) et davantage d'experts internationaux. Nous prévoyons ajouter davantage de critères relatifs aux services spécialisés et à la granularité de la collecte de données, qui ne sont pas explorés en détail dans la présente étude et qui pourraient éventuellement modifier la position de la PME. De plus, nous avons l'intention d'améliorer l'approche de pondération afin d'équilibrer les perspectives des clients et des experts. Enfin, plus de solutions génériques et spécialisées doivent être étudiées pour permettre de mieux comprendre leur contribution à la création de valeur.

## RÉFÉRENCES

- Abo-Sinna, Mahmoud A., and Azza H. Amer. 2005. "Extensions of TOPSIS for Multi-Objective Large-Scale Nonlinear Programming Problems." *Applied Mathematics and Computation* 162 (1): 243–56. <https://doi.org/10.1016/j.amc.2003.12.087>.
- Arnold, Christian, Daniel Kiel, and Kai-Ingo Voigt. 2016. "How the Industrial Internet of Things Changes Business Models in Different Manufacturing Industries." *International Journal of Innovation Management; London* 20 (8): 1.
- Atzori, Luigi, Antonio Iera, and Giacomo Morabito. 2010. "The Internet of Things: A Survey." *Computer Networks* 54 (15): 2787–2805. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2010.05.010>.
- Baines, T. S., H. W. Lightfoot, O. Benedettini, and J. M. Kay. 2009a. "The Servitization of Manufacturing: A Review of Literature and Reflection on Future Challenges." *Journal of Manufacturing Technology Management; Bradford* 20 (5): 547–67. <http://dx.doi.org.ezproxy.usherbrooke.ca/10.1108/17410380910960984>.
- . 2009b. "The Servitization of Manufacturing: A Review of Literature and Reflection on Future Challenges." *Journal of Manufacturing Technology Management* 20 (5): 547–67. <https://doi.org/10.1108/17410380910960984>.
- Baines, Tim. 2015. "Exploring Service Innovation and the Servitization of the Manufacturing Firm." *Research Technology Management* 58 (5): 9–11. <https://doi.org/10.5437/08956308X5805002>.
- Baines, Tim, Howard Lightfoot, and Palie Smart. 2011. "Servitization within Manufacturing." *Journal of Manufacturing Technology Management; Bradford* 22 (7): 947–54. <http://dx.doi.org.ezproxy.usherbrooke.ca/10.1108/17410381111160988>.
- Baines, Tim, and Howard W. Lightfoot. 2014. "Servitization of the Manufacturing Firm: Exploring the Operations Practices and Technologies That Deliver Advanced Services." *International Journal of Operations & Production Management; Bradford* 34 (1): 2–35.
- Banerjee, Arindam, Tathagata Bandyopadhyay, and Prachi Acharya. 2013. "Data Analytics: Hyped Up Aspirations or True Potential?" *Vikalpa* 38 (4): 1–12. <https://doi.org/10.1177/0256090920130401>.
- Barquet, Ana Paula Bezerra, Maicon Gouvea de Oliveira, Carolina Román Amigo, Vitor Pinheiro Cunha, and Henrique Rozenfeld. 2013. "Employing the Business Model Concept to Support the Adoption of Product–Service Systems (PSS)." *Industrial Marketing Management, Business Models – Exploring value drivers and the role of marketing*, 42 (5): 693–704. <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2013.05.003>.
- Batchelor, Ray. 1994. *Henry Ford, Mass Production, Modernism, and Design*. Manchester University Press.



Bi, Z., L.D. Xu, and C. Wang. 2014. "Internet of Things for Enterprise Systems of Modern Manufacturing." *IEEE Transactions on Industrial Informatics* 10 (2): 1537–46. <https://doi.org/10.1109/TII.2014.2300338>.

Boza, Andrés, Beatriz Cortes, Maria del Mar Eva Alemany, and Llanos Cuenca. 2016. "Conceptual Framework for Applying Internet of Things in Production Systems for Sensing Enterprises." *Brazilian Journal of Operations & Production Management* 13 (1): 66–71. <https://doi.org/10.14488/BJOPM.2016.v13.n1.a7>.

Carretero, Jesús, and J. Daniel García. 2014. "The Internet of Things: Connecting the World." *Personal and Ubiquitous Computing* 18 (2): 445–47. <https://doi.org/10.1007/s00779-013-0665-z>.  
Chen, Shu-Jen, and Ching-Lai Hwang. 1992. *Fuzzy Multiple Attribute Decision Making*. Vol. 375. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-46768-4>.

"Commercial off the Shelf Software Shortens Complex Software Lifetime." 2013. Mitosystems. August 10, 2013. <https://mitosystems.com/software-evolution/>.

Deane, P. M. 1979. *The First Industrial Revolution*. Cambridge University Press.  
Demeter, Krisztina, and Levente Szász. 2013. "Towards Solution Based Thinking: Characteristics of Servitization at Hungarian Manufacturing Companies." *Journal for East European Management Studies; Chemnitz* 18 (3): 309–35.

Dinges, Veit, Florian Urmetzer, Veronica Martinez, Mohamed Zaki, and Andy Neely. 2015. "THE FUTURE OF SERVITIZATION: Technologies That Will Make a Difference," 16.  
Dumez, Hervé. 2011. "Faire Une Revue de Littérature : Pourquoi et Comment ?" *Le Libellio d'Aegis* 7 (2-Eté): 15–27.

Gebauer, Heiko, Bo Edvardsson, and Margareta Bjurko. 2010. "The Impact of Service Orientation in Corporate Culture on Business Performance in Manufacturing Companies." *Journal of Service Management; Bingley* 21 (2): 237–59.

<http://dx.doi.org.ezproxy.usherbrooke.ca/10.1108/09564231011039303>.

Gebauer, Heiko, and Felix Putz. 2007. "The Impact of Service Offerings on Service-Related Performance Outcomes." *International Journal of Services Technology and Management; Geneva* 8 (2/3): 123.

Goedkoop, Mark. 1999. *Product Service Systems, Ecological and Economic Basics*.  
Gumus, Alev Taskin. 2009. "Evaluation of Hazardous Waste Transportation Firms by Using a Two Step Fuzzy-AHP and TOPSIS Methodology." *Expert Systems with Applications* 36 (2): 4067–74. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2008.03.013>.

Kari, Venu. 2014. "The Pros and Cons of SaaS vs On-Premises Deployment." *Smartbridge* (blog). May 5, 2014. <https://smartbridge.com/pros-cons-saas-vs-premises-deployment/>.  
Karjagi, Nigappa alias Shridhar, and J. Selvakumar. 2016. "Industry 4.0: A Cost and Energy Efficient Micro PLC for Smart Manufacturing." *Indian Journal of Science and Technology* 9

(44). <https://doi.org/10.17485/ijst/2016/v9i44/101946>.

Kastalli, Ivanka Visnjic, and Bart Van Looy. 2013. "Servitization: Disentangling the Impact of Service Business Model Innovation on Manufacturing Firm Performance." *Journal of Operations Management* 31 (4): 169–80. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2013.02.001>.

Kim, Young Ae, and Jaideep Srivastava. 2007. "Impact of Social Influence in E-Commerce Decision Making." In *Proceedings of the Ninth International Conference on Electronic Commerce*, 293–302. ICEC '07. New York, NY, USA: ACM. <https://doi.org/10.1145/1282100.1282157>.

Larkin, J. 2016. "Exploiting the Opportunities in Industry 4.0, IoT and Additive Manufacturing." *Automotive Industries AI* 196 (6).

Legault, Philippe, Luis Antonio de Santa-Eulalia, Elaine Mosconi, Fanny-Ève Bordeleau, Christian Francoeur, Nathalie Cadieux, Rosley Anholon, and Zine Rekik. 2019. "Servitization Trend in the Machine-Tools Market: Comparing Value from Turnkey and Specialized IoT-Based Analytics Solutions Using TOPSIS." *Procedia Manufacturing*, Research. Experience. Education. 9th Conference on Learning Factories 2019 (CLF 2019), Braunschweig, Germany, 31 (January): 390–97. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.03.061>.

Li, Y., W. Zhao, J. Li, and F. Zhao. 2015. "Supervision on the Processing and Production Chain of Meat Products Based on Internet of Things in China." *Advance Journal of Food Science and Technology* 8 (6): 435–39.

Mckinsey&Company. 2015. "THE INTERNET OF THINGS: MAPPING THE VALUE BEYOND THE HYPE."

Ministère de l'Économie et de l'Innovation. 2019. "S'améliorer / Guides et outils - MEI." Ministère de l'Économie et de l'Innovation. 2019. [https://www.economie.gouv.qc.ca/objectifs/ameliorer/guides-et-outils/page/guides-et-outils-22009/?no\\_cache=1&tx\\_igaffichagepages\\_pi1%5Bmode%5D=single&tx\\_igaffichagepages\\_pi1%5BbackPid%5D=17672&tx\\_igaffichagepages\\_pi1%5BcurrentCat%5D=&tx\\_igaffichagepages\\_pi1%5BparentPid%5D=22006&cHash=191569b83c7c806dbd1b2b91b91f844a](https://www.economie.gouv.qc.ca/objectifs/ameliorer/guides-et-outils/page/guides-et-outils-22009/?no_cache=1&tx_igaffichagepages_pi1%5Bmode%5D=single&tx_igaffichagepages_pi1%5BbackPid%5D=17672&tx_igaffichagepages_pi1%5BcurrentCat%5D=&tx_igaffichagepages_pi1%5BparentPid%5D=22006&cHash=191569b83c7c806dbd1b2b91b91f844a).

Moeuf, Alexandre, Robert Pellerin, Samir Lamouri, Simon Tamayo-Giraldo, and Rodolphe Barbaray. 2018. "The Industrial Management of SMEs in the Era of Industry 4.0." *International Journal of Production Research* 56 (3): 1118–36. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1372647>.

Mokyr, Joel. 1998. "The Second Industrial Revolution, 1870-1914," 18.

Mourtzis, D., E. Vlachou, and N. Milas. 2016. "Industrial Big Data as a Result of IoT Adoption in Manufacturing." *Procedia CIRP*, 5th CIRP Global Web Conference - Research and Innovation for Future Production (CIRPe 2016), 55: 290–95. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.07.038>.

Neely, Andy. 2008. "Exploring the Financial Consequences of the Servitization of Manufacturing." *Operations Management Research; New York* 1 (2): 103–18.  
<http://dx.doi.org.ezproxy.usherbrooke.ca/10.1007/s12063-009-0015-5>.

Osterwalder, Alexander, and Yves Pigneur. 2013. *Business Model Generation: A Handbook for Visionaries, Game Changers, and Challengers*.  
[https://books.google.ca/books?hl=fr&lr=&id=UzuTAwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA7&dq=osterwalder+business+model&ots=yXBUCjI92z&sig=QXzTVqr5-d-szckldc\\_JLFSIXfQ#v=onepage&q=osterwalder%20business%20model&f=false](https://books.google.ca/books?hl=fr&lr=&id=UzuTAwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA7&dq=osterwalder+business+model&ots=yXBUCjI92z&sig=QXzTVqr5-d-szckldc_JLFSIXfQ#v=onepage&q=osterwalder%20business%20model&f=false).

Park, H. 2016. "IoT-Based Trace Management System for Upgrading Quality on Production of Plastic Injection Molding." *Information (Japan)* 19 (1): 207–12.

Peillon, Sophie. 2016. "La Servicisation Des Entreprises Industrielles Un Changement Majeur de Business Model." *La Servicización de Las Empresas Industriales – Un Cambio Mayor de Business Modelo.*, no. 278/279 (March): 131–40.

Platts, Ken, Tim Minshall, Sirirat Lim, and Sarah Lubik. 2012. "Market-pull and Technology-push in Manufacturing Start-ups in Emerging Industries." *Journal of Manufacturing Technology Management* 24 (1): 10–27. <https://doi.org/10.1108/17410381311287463>.

Prism Economics & Analysis. 2016. "Profil du secteur manufacturier régional."

Rajala, Arto, Mika Westerlund, Mervi Murtonen, and Kim Starck. 2013. "Servitization in a Security Business: Changing the Logic of Value Creation." *Technology Innovation Management Review; Ottawa* 3 (8): 65–72.

Rifkin, Jeremy. 2012. "The Third Industrial Revolution: How the Internet, Green Electricity, and 3-D Printing Are Ushering in a Sustainable Era of Distributed Capitalism," 8.

Shariatzadeh, Navid, Thomas Lundholm, Lars Lindberg, and Gunilla Sivard. 2016. "Integration of Digital Factory with Smart Factory Based on Internet of Things." *Procedia CIRP*, 26th CIRP Design Conference, 50: 512–17. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.05.050>.

Singh, Rajesh Kumar, Ayush Gupta, Ashok Kumar, and Tasmeem Ahmad Khan. 2016. "Ranking of Barriers for Effective Maintenance by Using TOPSIS Approach." *Journal of Quality in Maintenance Engineering* 22 (1): 18–34. <https://doi.org/10.1108/JQME-02-2015-0009>.

"Software TCO Calculator - SaaS vs. On-Premise Pricing." n.d. Accessed August 20, 2018.  
<https://www.softwareadvice.com/tco/>.

"The Xerox Metered (Cost per Copy) Supplies Program & Supply Replenishment." n.d., 1.

Tukker, Arnold. 2004. "Eight Types of Product–Service System: Eight Ways to Sustainability? Experiences from SusProNet." *Business Strategy and the Environment* 13 (4): 246–60.  
<https://doi.org/10.1002/bse.414>.

Vandermerwe, Sandra, and Juan Rada. 1988. "Servitization of Business: Adding Value by Adding Services." *European Management Journal* 6 (4): 314–24. <https://doi.org/10.1016/0263->

2373(88)90033-3.

Wan, J., S. Tang, Z. Shu, D. Li, S. Wang, M. Imran, and A.V. Vasilakos. 2016. "Software-Defined Industrial Internet of Things in the Context of Industry 4.0." *IEEE Sensors Journal* 16 (20): 7373–80. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2016.2565621>.

Wang, X., and N. Liu. 2014. "The Application of Internet of Things in Agricultural Means of Production Supply Chain Management." *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research* 6 (7): 2304–10.

Weichhart, Georg, Arturo Molina, David Chen, Lawrence E. Whitman, and François Vernadat. 2016. "Challenges and Current Developments for Sensing, Smart and Sustainable Enterprise Systems." *Computers in Industry*, Special Issue on Future Perspectives On Next Generation Enterprise Information Systems, 79 (Supplement C): 34–46. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2015.07.002>.

Yin, Robert K. 2013. *Case Study Research: Design and Methods*. SAGE Publications.

## ANNEXE A

**Évaluation de la valorisation d'un modèle d'affaires dans un processus de servitization basé sur l'Internet des Objets : Une étude de cas dans une entreprise manufacturière québécoise.**

Par Philippe Legault

Étudiant à la M. Sc. en administration, Gestion du Commerce électronique

Sous la codirection des professeurs Elaine Mosconi et Luis Antonio de Santa-Eulalia

Département SIMQG

École de gestion, Université de Sherbrooke

**QUESTIONS SOCIO-DÉMOGRAPHIQUES**

SD1 – Quel est votre nom ?

SD2 – Quel est votre poste dans l'entreprise ?

SD3 – Depuis combien de temps occupez-vous ce poste ?

**Compréhension de l'environnement (Questions concernant le modèle d'affaire)**

**QUESTIONS PROPOSITION DE VALEUR**

PV1.1 – Quelle est la valeur que vous délivrez au client ?

PV1.2 – Comment l'IoT vous aide à générer de la valeur pour le client ?

PV1.3 – Quel est le niveau de servitization que vous avez atteint maintenant dans cette proposition ? Ou quels sont les services que votre entreprise offre en lien avec les produits que vous délivrez au client ?

PV1.4 – Et dans l'avenir, planifiez-vous ajouter d'autres services ?

PV1.5 – Comment l'IoT vous aidera à changer le niveau de services envisagés ?

PV2.1 – Quelles besoins clients satisfaites-vous avec la proposition de valeur actuelle ?

PV2.2 – Comment la servitization basée l'IoT vous aide à les satisfaire ?

PV3.1 – Quelle problématique client avez-vous besoin à résoudre ?

PV3.2 – Comment la servitization basée l'IoT vous aide à résoudre de problèmes clients ?

PV4.1 – Comment la nouvelle proposition de valeur aidera vos clients à devenir plus « Sensing » ? (Notes du chercheur : Expliquer ce qui veut dire par cela)

PV4.2 – Comment la nouvelle proposition de valeur aidera vos clients à devenir plus « Smart » ? (Notes du chercheur : Expliquer ce qui veut dire par cela)

PV4.3 – Comment la nouvelle proposition de valeur aidera vos clients à devenir plus « Sustainable » ? (Notes du chercheur : Expliquer ce qui veut dire par cela)

**QUESTIONS PARTENAIRES CLÉS**

PC1.1 – Qui sont vos partenaires clés ?

PC1.2 – Est-ce que le changement de la proposition de valeur par l'IoT vous force à changer de partenaires clés ? Expliquez.

PC2.1 – Qui sont vos fournisseurs clés ?

PC2.2 – Est-ce que le changement de la proposition de valeur par l'IoT vous force à changer de fournisseur clés ? Expliquez.

### **QUESTIONS ACTIVITÉS CLÉS**

AC1 – Quelles activités clés sont nécessaires pour votre proposition de valeur ?

AC2 - Est-ce que le changement de la proposition de valeur par l'IoT vous force revoir vos activités clés ? Expliquez.

### **QUESTIONS RESSOURCES CLÉS**

RC1 - Quelles ressources clés sont nécessaires pour votre proposition de valeur ?

RC2 - Est-ce que le changement de la proposition de valeur par l'IoT vous force revoir vos ressources clés ? Expliquez.

### **QUESTIONS STRUCTURE DE COÛTS**

SC1.1 – Quels sont vos coûts les plus importants ?

SC1.2 - Est-ce que le changement de la proposition de valeur par l'IoT vous force revoir la structure des coûts établis? Expliquez.

SC2.1 – Quelles sont vos ressources clés les plus coûteuses ?

SC2.2 - Est-ce que le changement de la proposition de valeur par l'IoT vous force revoir vos ressources clés ? Expliquez.

### **QUESTIONS SOURCES DE REVENUS**

SR1.1 – Pour quelle valeur ajoutée vos clients sont-ils prêts à payer ?

SR1.2 - Est-ce que le changement de la proposition de valeur par l'IoT vous force revoir les actuelles sources de revenu ? Expliquez.

### **QUESTIONS RELATIONS CLIENT**

REC 1 – Quelle relation chaque segment client souhaite-t-il que vous établissiez et mainteniez avec eux ?

REC2 - Est-ce que le changement de la proposition de valeur par l'IoT vous force revoir la relation avec les clients ? Expliquez.

### **QUESTIONS SEGMENTS CLIENTS**

SEC1 - Pour quelle clientèle cible créez-vous de la valeur ?

SEC2 - Est-ce que le changement de la proposition de valeur par l'IoT vous force revoir votre clientèle cible ? Expliquez.

### **QUESTIONS CANAUX DE DISTRIBUTION**

CD1 – À travers quels canaux vos clients souhaitent-ils être atteints ?

CD2 - Est-ce que le changement de la proposition de valeur par l'IoT vous force revoir vos canaux de distribution ? Expliquez.

## **QUESTIONS SUR LA VALEUR PERÇUE**

(SEULEMENT UTILISÉ LORS DE L'ENTREVUE CLIENT)

### **Dans la mesure où l'entreprise partenaire mettrait en place un service IoT:**

VP1 - Comment décrivez-vous la valeur perçue de ce service ajouté aux produits ?

VP2 - Est-ce que ce service vous aidera à régler des problématiques managériales en entreprise ? Expliquez.

VP3 - Quel est l'impact perçu de ce service sur la performance de l'entreprise aux niveaux : stratégique, tactique et opérationnel ?

VP4 - Quel est le degré d'amélioration de performance souhaité dans les niveaux de décision stratégique, tactique et opérationnel ?

VP5 - Quelles sont les personnes/postes/fonctions des personnes qui bénéficieront de ce service ?

VP6 - Seriez-vous prêt à payer pour ce service ?

VP7 – À quelle fréquence utiliseriez-vous ce service ?

VP8 – Avez-vous des suggestions par rapport à ce service ?



## ANNEXE B

## Tableaux de calculs TOPSIS

	LOA	PRICE	PLATFORM	REAL TIME	TIME PRED.	IMPL. TIME	HARD. COMP	TUTORIAL	WORK. INST.	TROUBLESHOOTING	OPERATIONAL	TACTICAL	STRATEGIC	INTERFACE C.	SPARE PARTS	CONS. MON.	CRM COMP.	CASE-BASED	POSITION T.	RFID/3D
Generic solution	2	-3	3	2	-1	-30	2	1	1	2	2	2	1,5	1	1	2	2	1	1	1
Siemens Mindsphere	4	-7	3	2	-3	-60	2	1	1	2	2	2	1	1	3	2	2	1	1	1
Rockwell automation	4	-6	3	2	-3	-60	2	1	1	2	2	1,5	1	1	2	2	2	1	1	1
SAP Leonardo	4	-6	3	2	-3	-70	2	2	1	2	2	2	1	1	3	2	2	1	1	1
Criteria Sign Range	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

	X²2																			
Generic solution																				
Siemens Mindsphere	4	9	9	4	1	900	4	1	1	4	4	4	2,25	1	1	4	4	1	1	1
Rockwell automation	16	49	9	4	9	3600	4	1	1	4	4	4	1	1	9	4	4	1	1	1
SAP Leonardo	16	36	9	4	9	3600	4	1	1	4	4	2,25	1	1	4	4	4	1	1	1
Criteria Sign Range	16	36	9	4	9	4900	4	4	1	4	4	4	1	1	9	4	4	1	1	1

Tableaux de calculs normalisés TOPSIS (suite)

Normalized Data																				
0,2774	-0,2631	0,5000	0,5000	-0,1890	-0,2631	0,5000	0,3780	0,5000	0,5000	0,5000	0,5298	0,6547	0,5000	0,2085	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000
0,5547	-0,6139	0,5000	0,5000	-0,5669	-0,5262	0,5000	0,3780	0,5000	0,5000	0,5000	0,5298	0,4364	0,5000	0,6255	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000
0,5547	-0,5262	0,5000	0,5000	-0,5669	-0,5262	0,5000	0,3780	0,5000	0,5000	0,5000	0,3974	0,4364	0,5000	0,4170	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000
0,5547	-0,5262	0,5000	0,5000	-0,5669	-0,6139	0,5000	0,7559	0,5000	0,5000	0,5000	0,5298	0,4364	0,5000	0,6255	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000

Weights for the Matrix																				
0,05	0,066	0,025	0,075	0,0410	0,066	0,075	0,075	0,0250	0,017	0,083	0,083	0,083	0,046	0,05	0,066	0,066	0,008	1,0000	1,0000	1,0000
0,05	0,066	0,025	0,075	0,0410	0,066	0,075	0,075	0,0250	0,017	0,083	0,083	0,083	0,046	0,05	0,066	0,066	0,008	1,0000	1,0000	1,0000
0,05	0,066	0,025	0,075	0,0410	0,066	0,075	0,075	0,0250	0,017	0,083	0,083	0,083	0,046	0,05	0,066	0,066	0,008	1,0000	1,0000	1,0000
0,05	0,066	0,025	0,075	0,0410	0,066	0,075	0,075	0,0250	0,017	0,083	0,083	0,083	0,046	0,05	0,066	0,066	0,008	1,0000	1,0000	1,0000

Weighted Normalized Matrix																				
0,0139	-0,0174	0,0125	0,0375	-0,0077	-0,0174	0,0375	0,0283	0,0125	0,0085	0,0415	0,0440	0,0543	0,0230	0,0104	0,0330	0,0330	0,0040	0,5000	0,5000	0,5000
0,0277	-0,0405	0,0125	0,0375	-0,0232	-0,0347	0,0375	0,0283	0,0125	0,0085	0,0415	0,0440	0,0362	0,0230	0,0313	0,0330	0,0330	0,0040	0,5000	0,5000	0,5000
0,0277	-0,0347	0,0125	0,0375	-0,0232	-0,0347	0,0375	0,0283	0,0125	0,0085	0,0415	0,0330	0,0362	0,0230	0,0209	0,0330	0,0330	0,0040	0,5000	0,5000	0,5000
0,0277	-0,0347	0,0125	0,0375	-0,0232	-0,0405	0,0375	0,0567	0,0125	0,0085	0,0415	0,0440	0,0362	0,0230	0,0313	0,0330	0,0330	0,0040	0,5000	0,5000	0,5000

Tableaux de matrices positive et négative TOPSIS (suite)

Positive Matrix																				
0,0277	-0,0174	0,0125	0,0375	-0,0077	-0,0174	0,0375	0,0567	0,0125	0,0085	0,0415	0,0440	0,0543	0,0230	0,0313	0,0330	0,0330	0,0040	0,5000	0,5000	0,5000
0,0277	-0,0174	0,0125	0,0375	-0,0077	-0,0174	0,0375	0,0567	0,0125	0,0085	0,0415	0,0440	0,0543	0,0230	0,0313	0,0330	0,0330	0,0040	0,5000	0,5000	0,5000
0,0277	-0,0174	0,0125	0,0375	-0,0077	-0,0174	0,0375	0,0567	0,0125	0,0085	0,0415	0,0440	0,0543	0,0230	0,0313	0,0330	0,0330	0,0040	0,5000	0,5000	0,5000
0,0277	-0,0174	0,0125	0,0375	-0,0077	-0,0174	0,0375	0,0567	0,0125	0,0085	0,0415	0,0440	0,0543	0,0230	0,0313	0,0330	0,0330	0,0040	0,5000	0,5000	0,5000

Negative Matrix																				
0,0139	-0,0405	0,0125	0,0375	-0,0232	-0,0405	0,0375	0,0283	0,0125	0,0085	0,0415	0,0330	0,0362	0,0230	0,0104	0,0330	0,0330	0,0040	0,5000	0,5000	0,5000
0,0139	-0,0405	0,0125	0,0375	-0,0232	-0,0405	0,0375	0,0283	0,0125	0,0085	0,0415	0,0330	0,0362	0,0230	0,0104	0,0330	0,0330	0,0040	0,5000	0,5000	0,5000
0,0139	-0,0405	0,0125	0,0375	-0,0232	-0,0405	0,0375	0,0283	0,0125	0,0085	0,0415	0,0330	0,0362	0,0230	0,0104	0,0330	0,0330	0,0040	0,5000	0,5000	0,5000
0,0139	-0,0405	0,0125	0,0375	-0,0232	-0,0405	0,0375	0,0283	0,0125	0,0085	0,0415	0,0330	0,0362	0,0230	0,0104	0,0330	0,0330	0,0040	0,5000	0,5000	0,5000

Résultats - TOPSIS (suite)

SI+	CI Value	Rank	
0,0378	0,5260	1	GENERIC
0,0470	0,3729	3	SIEMENS
0,0470	0,2901	4	ROCKWELL
0,0375	0,5150	2	SAP LEONARDO
SI-			
0,0420			
0,0280			
0,0192			
0,0398			